

# Proyecto Fin de Carrera



## ***“ESTUDIO Y DESARROLLO DE MATERIAL DOCENTE”***

**INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL  
ESPECIALIDAD MECANICA**

Realizado por: Juan Luís Pérez Lapetra.

Dirigido por: M<sup>a</sup> Pilar Lambán Castillo.

*En primer lugar quiero agradecer a la directora de este proyecto, M<sup>a</sup> Pilar Lambán Castillo, el tiempo invertido en el mismo, así como su dedicación y disposición durante la realización de dicho proyecto.*

*Mi agradecimiento, también, a todas las personas que me he encontrado durante este camino, tanto en la Residencia como en la Universidad, gracias por su compañerismo y amistad; y a todas las personas que siempre me han apoyado.*

*Finalmente agradecer su apoyo a toda mi familia. Gracias por estar ahí en todo momento. Simplemente ¡GRACIAS!*

## **INDICE GENERAL**

<b>1. INTRODUCCION</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1 OBJETIVO</b> .....	<b>12</b>
<b>1.2 ALCANCE</b> .....	<b>12</b>
<b>2. MANUAL DE LOS SISTEMAS DE CONTROL</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1 DEFINICION DE SISTEMA DE CONTROL</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2 CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE CONTROL</b> .....	<b>14</b>
2.2.1 <i>SISTEMAS HECHOS POR LAS PERSONAS</i> .....	<b>14</b>
2.2.2 <i>SISTEMAS NATURALES</i> .....	<b>16</b>
2.2.3 <i>SISTEMAS MIXTOS</i> .....	<b>16</b>
<b>2.3 SISTEMAS DE LAZO ABIERTO Y SISTEMAS DE LAZO CERRADO</b> .....	<b>17</b>
2.3.1 <i>SISTEMAS DE LAZO ABIERTO</i> .....	<b>17</b>
2.3.2 <i>SISTEMAS DE LAZO CERRADO</i> .....	<b>18</b>
2.3.3 <i>COMPARACION ENTRE LOS SISTEMAS DE LAZO ABIERTO Y LOS SISTEMAS DE LAZO CERRADO</i> .....	<b>19</b>
<b>2.4 CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS DE CONTROL</b> .....	<b>20</b>
<b>2.5 ESTABILIDAD Y RESPUESTA DE LOS SISTEMAS DE CONTROL</b> .....	<b>21</b>
<b>2.6 MODELOS DE SISTEMAS</b> .....	<b>22</b>
2.6.1 <i>ECUACIONES DIFERENCIALES</i> .....	<b>22</b>
2.6.2 <i>DIAGRAMAS DE BLOQUES</i> .....	<b>23</b>
<b>2.7 EQUIPO BASICO DE UN SISTEMA DE CONTROL</b> .....	<b>24</b>
2.7.1 <i>ELEMENTOS DE MEDICION</i> .....	<b>24</b>
2.7.2 <i>ELEMENTOS ELECTRONICOS DE CORRECCION</i> .....	<b>28</b>
2.7.3 <i>ELEMENTOS DE CORRECCION ELECTRONEUMATICOS O HIDRAULICOS</i> .....	<b>30</b>
<b>2.8 CONTROL DE LOS PROCESOS DISCRETOS</b> .....	<b>31</b>

<b>2.9 EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS DE CONTROL</b>	<b>34</b>
2.9.1 SISTEMAS DE DATOS DE FORMULACION	34
2.9.2 MANEJO DE CONTROLADORES	34
2.9.3 TRANSMISION DE DATOS	36
2.9.4 REGULACION DE PROCESOS	37
2.9.5 CONTROL Y OPTIMIZACION	37
<b>2.10 CONTROL DE LOS PROCESOS DE PRIMERA TRANSFORMACION</b>	<b>39</b>
2.10.1 HARINA	39
2.10.2 ALMIDON	40
2.10.3 AZUCAR	40
2.10.4 LECHE	42
2.10.5 ACEITES Y GRASAS	43
2.10.6 ZUMOS DE FRUTAS	44
2.10.7 LA FERMENTACION	45
<b>2.11 PRODUCTOS MANUFACTURADOS</b>	<b>48</b>
2.11.1 COCCION POR EXTRUSION	48
2.11.2 PANADERIAS	50
2.11.3 LECHERIAS	52
2.11.4 EL PROCESO TERMICO DE LOS ALIMENTOS PARTICULADOS	55
2.11.5 EL TOSTADO DEL CAFE	57
<b>2.12 PRODUCTOS QUE MANTIENEN SU ESTRUCTURA</b>	<b>58</b>
2.12.1 CARNES Y PESCADOS	58
2.12.2 FRUTAS Y HORTALIZAS	59
2.12.3 EL ENVASADO EN ATMOSFERAS MODIFICADAS	60
2.12.4 DULCES Y HELADOS	60
2.12.5 EL ENCAPSULADO	61
2.12.6 EL ENVASADO	62

<b>2.13 CONTROL INTEGRADO EN PLANTA</b>	<b>63</b>
2.13.1 EL CABLEADO DE CAMPO	63
2.13.2 LA TRANSMISION DE DATOS Y LOS COMPUTADORES SUPERVISORES	63
2.13.3 TENDENCIAS EN SOFTWARE	63
2.13.4 RECOMENDACIONES PARA FUTUROS PROYECTOS	64
<b>2.14 ELEMENTOS FINALES DE CONTROL</b>	<b>65</b>
2.14.1 TIPOS DE VALVULAS	65
2.14.2 TIPOS DE ACTUADORES	72
<b>2.15 BIBLIOGRAFIA Y PAGINAS WEBS</b>	<b>75</b>
<b>3. MANUAL DE SENSORES</b>	<b>77</b>
<b>3.1 DEFINICION DE SENSOR</b>	<b>77</b>
<b>3.2 CARACTERISTICAS DE LOS SENSORES</b>	<b>80</b>
<b>3.3 RESOLUCION Y PRECISION DE LOS SENSORES</b>	<b>82</b>
<b>3.4 SENSORES DE TEMPERATURA</b>	<b>83</b>
<b>3.5 SENSORES DE PRESION</b>	<b>91</b>
3.5.1 SENSORES DE PRESION MECANICOS	92
3.5.2 SENSORES DE PRESION ELECTROMECHANICOS	94
3.5.3 SENSORES DE PRESCION ELECTRONICOS DE VACIO	97
<b>3.6 SENSORES DE NIVEL</b>	<b>100</b>
3.6.1 SENSORES DE NIVEL PARA LIQUIDOS	100
3.6.2 SENSORES DE NIVEL PARA SOLIDOS	104
<b>3.7 SENSORES DE CAUDAL</b>	<b>107</b>
3.7.1 SENSORES DE CAUDAL VOLUMETRICO	107
3.7.2 SENSORES DE CAUDAL MASICO	112
<b>3.8 SENSORES DE DENSIDAD</b>	<b>114</b>
<b>3.9 SENSORES DE VISCOSIDAD</b>	<b>115</b>
<b>3.10 SENSORES DE HUMEDAD</b>	<b>116</b>
3.10.1 HUMEDAD DE EQUILIBRIO	116
3.10.2 SENSORES DE MICROONDAS	116
3.10.3 SENSORES DE INFRARROJOS	117

<b>3.11</b>	<b>SENSORES QUIMICOS Y BIOQUIMICOS</b>	<b>118</b>
3.11.1	<i>RESONANCIA MAGNETICA NUCLEAR</i>	118
3.11.2	<i>ELECTRODOS DE pH</i>	118
3.11.3	<i>SELECTIVOS DE IONES</i>	118
<b>3.12</b>	<b>SENSORES DE TAMAÑO</b>	<b>119</b>
<b>3.13</b>	<b>SENSORES DE COLOR</b>	<b>120</b>
<b>3.14</b>	<b>SENSORES DE TURBIDEZ</b>	<b>121</b>
<b>3.15</b>	<b>SENSORES DE LUZ</b>	<b>122</b>
<b>3.16</b>	<b>SENSORES INDUCTIVOS</b>	<b>125</b>
<b>3.17</b>	<b>SENSORES CAPACITIVOS</b>	<b>126</b>
<b>3.18</b>	<b>SENSORES POR ULTRASONIDOS</b>	<b>127</b>
<b>3.19</b>	<b>SENSORES DE ESFUERZO</b>	<b>128</b>
<b>3.20</b>	<b>SENSORES DE MOVIMIENTO</b>	<b>129</b>
3.20.1	<i>SENSORES DE DESLIZAMIENTO</i>	129
3.20.2	<i>SENSORES DE VELOCIDAD</i>	130
3.20.3	<i>SENSORES DE ACELERACION</i>	130
<b>3.21</b>	<b>FIABILIDAD DE LA MEDIDA</b>	<b>134</b>
<b>3.22</b>	<b>BIBLIOGRAFIA Y PAGINAS WEBS</b>	<b>135</b>
<b>4.</b>	<b>PRESENTACIONES DE POWEPOINT</b>	<b>136</b>
<b>4.1</b>	<b>PRESENTACION DE LOS SISTEMAS DE CONTROL</b>	<b>136</b>
4.1.1	<i>INDICE DE LA PRESENTACION DE LOS SISTEMAS DE CONTROL</i>	136
4.1.2	<i>RELACION DE VIDEOS DE SISTEMAS DE CONTROL</i>	138
<b>4.2</b>	<b>PRESENTACION DE LOS SENSORES</b>	<b>140</b>
4.2.1	<i>INDICE DE LA PRESENTACION DE LOS SENSORES</i>	140
4.2.2	<i>RELACION DE VIDEOS DE SENSORES</i>	140
<b>5.</b>	<b>CASOS PRACTICOS</b>	<b>141</b>
<b>5.1</b>	<b>ELABORACION DE AZUCAR</b>	<b>141</b>
5.1.1	<i>SENSORES UTILIZADOS</i>	149
<b>5.2</b>	<b>ELABORACION DE PAN</b>	<b>150</b>
5.2.1	<i>SENSORES UTILIZADOS</i>	153

<b>5.3 ELABORACION DE CHOCOLATE</b> .....	<b>154</b>
<i>5.3.1 SENSORES UTILIZADOS</i> .....	<b>156</b>
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	<b>157</b>
<b>7. BIBLIOGRAFIA Y PAGINAS WEBS</b> .....	<b>158</b>
<b>7.1 BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>158</b>
<b>7.2 PAGINAS WEBS</b> .....	<b>159</b>

## **INDICE IMAGENES**

<b>Figura 2.1 Esquema de un Sistema de Lazo Abierto-----</b>	<b>17</b>
<b>Figura 2.2 Esquema de un Sistema de Lazo Cerrado-----</b>	<b>19</b>
<b>Figura 2.3 Esquema de un Diagrama de Bloques-----</b>	<b>23</b>
<b>Figura 2.4 Esquema Interno de un Potenciómetro Circular -----</b>	<b>24</b>
<b>Figura 2.5 Esquema de un Transformador Diferencial de Variación Lineal -----</b>	<b>25</b>
<b>Figura 2.6 Esquema de un Extensómetro de Resistencia Eléctrica -----</b>	<b>25</b>
<b>Figura 2.7 Esquema de un Tacómetro -----</b>	<b>26</b>
<b>Figura 2.8 Componentes de un Codificador -----</b>	<b>27</b>
<b>Figura 2.9 Esquema de un Sincro-----</b>	<b>27</b>
<b>Figura 2.10 Esquema de Conexión de un RTD-----</b>	<b>28</b>
<b>Figura 2.11 Motor de Corriente Directa-----</b>	<b>28</b>
<b>Figura 2.12 Motor de Corriente Directa sin Escobillas-----</b>	<b>29</b>
<b>Figura 2.13 Motor de Corriente Alterna -----</b>	<b>29</b>
<b>Figura 2.14 Motor de Pasos -----</b>	<b>30</b>
<b>Figura 2.15 Elemento de Corrección Hidráulico-----</b>	<b>30</b>
<b>Figura 2.16 Diagrama de Tiempos de un Proceso -----</b>	<b>31</b>
<b>Figura 2.17 Diagrama de Escalera-----</b>	<b>32</b>
<b>Figura 2.18 Diagrama de Flujo-----</b>	<b>32</b>
<b>Figura 2.19 Diagrama de Funciones Secuenciales -----</b>	<b>33</b>
<b>Figura 2.20 Mezcladora de Ingredientes -----</b>	<b>35</b>
<b>Figura 2.21 Mezcladora de Fluidos -----</b>	<b>35</b>
<b>Figura 2.22 Planta de Fabricación de Harina -----</b>	<b>39</b>
<b>Figura 2.23 Diagrama de Flujo de la Producción de Almidón ---</b>	<b>40</b>
<b>Figura 2.24 Esquema de Fabricación de Azúcar-----</b>	<b>41</b>
<b>Figura 2.25 Línea de Producción de la Leche-----</b>	<b>42</b>
<b>Figura 2.26 Proceso de Refinado de Aceite Vegetal -----</b>	<b>44</b>
<b>Figura 2.27 Proceso de Elaboración de Zumo -----</b>	<b>45</b>



<b>Figura 2.28 Armario para la Fermentación del Pan</b> .....	<b>46</b>
<b>Figura 2.29 Elaboración de Cerveza</b> .....	<b>47</b>
<b>Figura 2.30 Etapa del Proceso de Elaboración de la Pasta Fresca</b> .....	<b>48</b>
<b>Figura 2.31 Etapa del Proceso de Elaboración de Embutidos</b> ---	<b>49</b>
<b>Figura 2.32 Amasadora de Pan</b> -----	<b>50</b>
<b>Figura 2.33 Proceso de Elaboración del Pan</b> -----	<b>51</b>
<b>Figura 2.34 Diagrama de Bloques de la Elaboración de la Mantequilla</b> .....	<b>52</b>
<b>Figura 2.35 Diagrama de Elaboración del Queso de Cabra</b> .....	<b>53</b>
<b>Figura 2.36 Diagrama de Elaboración de Yogur</b> .....	<b>54</b>
<b>Figura 2.37 Esterilización con Autoclaves de Alimentos</b> .....	<b>55</b>
<b>Figura 2.38 Proceso de Elaboración de Café</b> .....	<b>57</b>
<b>Figura 2.39 Proceso de Elaboración del Chocolate</b> -----	<b>61</b>
<b>Figura 2.40 Planta de Embotellado de Agua</b> -----	<b>62</b>
<b>Figura 2.41 Válvulas de Globo</b> -----	<b>65</b>
<b>Figura 2.42 Válvula en Angulo</b> .....	<b>66</b>
<b>Figura 2.43 Válvula de Compuerta</b> .....	<b>66</b>
<b>Figura 2.44 Válvula de Jaula</b> -----	<b>67</b>
<b>Figura 2.45 Válvula en Y</b> .....	<b>67</b>
<b>Figura 2.46 Válvula de Cuerpo Partido</b> .....	<b>68</b>
<b>Figura 2.47 Válvula Saunders</b> .....	<b>68</b>
<b>Figura 2.48 Válvula de Obturador Excéntrico Rotativo</b> .....	<b>69</b>
<b>Figura 2.49 Válvula de Mariposa</b> .....	<b>69</b>
<b>Figura 2.50 Válvula de Bola</b> -----	<b>70</b>
<b>Figura 2.51 Válvula de Orificio Ajustable</b> .....	<b>70</b>
<b>Figura 2.52 Válvula de Flujo Axial</b> .....	<b>71</b>
<b>Figura 2.53 Válvula de Desahogo</b> .....	<b>71</b>
<b>Figura 2.54 Actuador Neumático</b> .....	<b>72</b>
<b>Figura 2.55 Actuador Hidráulico</b> -----	<b>73</b>
<b>Figura 2.56 Actuador de Solenoide</b> .....	<b>74</b>

<b>Figura 2.57 Actuador Motorizado</b>	<b>74</b>
<b>Figura 3.1 Termómetros de Vidrio</b>	<b>85</b>
<b>Figura 3.2 Termómetro Bimetálico</b>	<b>85</b>
<b>Figura 3.3 Termómetro de Bulbo y Capilar</b>	<b>86</b>
<b>Figura 3.4 Termómetros de Resistencia</b>	<b>87</b>
<b>Figura 3.5 Termistores</b>	<b>87</b>
<b>Figura 3.6 Termopares</b>	<b>88</b>
<b>Figura 3.7 Termómetro de Infrarrojos</b>	<b>90</b>
<b>Figura 3.8 Tubo de Bourdon</b>	<b>92</b>
<b>Figura 3.9 Manómetro de Espiral</b>	<b>92</b>
<b>Figura 3.10 Manómetro de Diafragma</b>	<b>93</b>
<b>Figura 3.11 Manómetro de Fuelle</b>	<b>93</b>
<b>Figura 3.12 Sensor de Presión de Inducción Variable</b>	<b>94</b>
<b>Figura 3.13 Sensor de Presión de Reluctancia Variable</b>	<b>95</b>
<b>Figura 3.14 Sensor de Presión Capacitivo</b>	<b>95</b>
<b>Figura 3.15 Galgas Extensiométricas</b>	<b>96</b>
<b>Figura 3.16 Transductor Piezoeléctrico</b>	<b>96</b>
<b>Figura 3.17 Sensor Térmico de Termopar</b>	<b>97</b>
<b>Figura 3.18 Transductor Pirani</b>	<b>97</b>
<b>Figura 3.19 Transductor Bimetálico</b>	<b>98</b>
<b>Figura 3.20 Transductor de Filamento Caliente</b>	<b>98</b>
<b>Figura 3.21 Transductor de Cátodo Frío</b>	<b>99</b>
<b>Figura 3.22 Medidor de Nivel de Tubo de Vidrio</b>	<b>100</b>
<b>Figura 3.23 Medidor de Flotante</b>	<b>101</b>
<b>Figura 3.24 Sensor Basado en Desplazamiento</b>	<b>102</b>
<b>Figura 3.25 Medidor Capacitivo</b>	<b>102</b>
<b>Figura 3.26 Sensor Basado en Ultrasonidos</b>	<b>103</b>
<b>Figura 3.27 Sensor Basado en Emisiones de Rayos Gamma</b>	<b>103</b>
<b>Figura 3.28 Detector de Diafragma</b>	<b>104</b>
<b>Figura 3.29 Detector de Cono Suspendido</b>	<b>104</b>
<b>Figura 3.30 Detector de Paletas Rotativas</b>	<b>105</b>

<b>Figura 3.31 Medidor de Nivel de Peso Móvil</b>	<b>105</b>
<b>Figura 3.32 Medidor Basado en Ultrasonidos</b>	<b>106</b>
<b>Figura 3.33 Medidor Basado en Radiación Gamma</b>	<b>106</b>
<b>Figura 3.34 Placas Orificio</b>	<b>107</b>
<b>Figura 3.35 Tubo de Venturi</b>	<b>108</b>
<b>Figura 3.36 Tubo de Pitot</b>	<b>108</b>
<b>Figura 3.37 Medidor de Turbina</b>	<b>109</b>
<b>Figura 3.38 Tobera</b>	<b>110</b>
<b>Figura 3.39 Vertedero</b>	<b>110</b>
<b>Figura 3.40 Medidor Magnético</b>	<b>111</b>
<b>Figura 3.41 Partes de un Vortex</b>	<b>111</b>
<b>Figura 3.42 Medidor de Paleta Móvil</b>	<b>112</b>
<b>Figura 3.43 Medidor Térmico de Caudal</b>	<b>112</b>
<b>Figura 3.44 Medidor de Coriolis</b>	<b>113</b>
<b>Figura 3.45 Sensores de Densidad</b>	<b>114</b>
<b>Figura 3.46 Sensor de Viscosidad</b>	<b>115</b>
<b>Figura 3.47 Sensor de Humedad</b>	<b>116</b>
<b>Figura 3.48 Sensores de Color</b>	<b>120</b>
<b>Figura 3.49 Sensores de Turbidez</b>	<b>121</b>
<b>Figura 3.50 Fotorresistencia</b>	<b>122</b>
<b>Figura 3.51 Celda Fotovoltaica</b>	<b>122</b>
<b>Figura 3.52 Fotodiodo</b>	<b>123</b>
<b>Figura 3.53 Fototransistor</b>	<b>123</b>
<b>Figura 3.54 CCD</b>	<b>124</b>
<b>Figura 3.55 Sensor Inductivo</b>	<b>125</b>
<b>Figura 3.56 Sensor Capacitivo</b>	<b>126</b>
<b>Figura 3.57 Sensores por Ultrasonidos</b>	<b>127</b>
<b>Figura 3.58 Sensor de Desplazamiento</b>	<b>129</b>
<b>Figura 3.59 Sensor de Velocidad</b>	<b>130</b>
<b>Figura 3.60 Acelerómetro Piezoeléctrico</b>	<b>131</b>
<b>Figura 3.61 Acelerómetro Piezorresistivo</b>	<b>131</b>

<b>Figura 3.62 Acelerómetro Sísmico</b> -----	<b>132</b>
<b>Figura 5.1 Proceso de Siembra del Azúcar</b> -----	<b>143</b>
<b>Figura 5.2 Proceso de Cosecha</b> -----	<b>144</b>
<b>Figura 5.3 Picado del Azúcar</b> -----	<b>145</b>
<b>Figura 5.4 Clarificación</b> -----	<b>146</b>
<b>Figura 5.5 Proceso de Evaporación</b> -----	<b>147</b>
<b>Figura 5.6 Proceso de Cristalización</b> -----	<b>147</b>
<b>Figura 5.7 Proceso de Centrifugación</b> -----	<b>148</b>
<b>Figura 5.8 Envasado del Azúcar</b> -----	<b>148</b>
<b>Figura 5.9 Sensor de Concentración</b> -----	<b>149</b>
<b>Figura 5.10 Amasado del Pan</b> -----	<b>150</b>
<b>Figura 5.11 División de la Masa</b> -----	<b>151</b>
<b>Figura 5.12 Boleado</b> -----	<b>151</b>
<b>Figura 5.13 Fermentación del Pan</b> -----	<b>152</b>
<b>Figura 5.14 Masa ya Cortada</b> -----	<b>153</b>
<b>Figura 5.15 Tostado del Chocolate</b> -----	<b>154</b>
<b>Figura 5.16 Proceso de Molienda</b> -----	<b>155</b>

## **INDICE TABLAS**

<b>Tabla 3.1 Clasificación de los Sensores</b> .....	<b>77</b>
<b>Tabla 3. 2 Ventajas y Desventajas de los Sensores de Temperatura</b> .....	<b>83</b>
<b>Tabla 3.3 Características de los Termistores</b> .....	<b>89</b>

## **1. INTRODUCCION.**

### **1.1 OBJETIVO.**

El objetivo del proyecto fin de carrera que se ha llevado a cabo, es generar material didáctico para una asignatura que trabaja el ámbito de los equipos e instalaciones en la industria agroalimentaria

Este objetivo implica distintos objetivos específicos como son: la búsqueda de libros, páginas webs y vídeos relacionados con los sistemas de control y los sensores, la realización de un manual de sensores y otro de sistemas de control y la realización de una presentación para cada uno de ellos.

### **1.2 ALCANCE.**

El alcance de este proyecto es la docencia de una asignatura relacionada con el ámbito de los equipos e instalaciones en la industria agroalimentaria. Dicha asignatura se imparte en la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Zaragoza.

## **2. MANUAL DE LOS SISTEMAS DE CONTROL.**

### **2.1 DEFINICION DE SISTEMA DE CONTROL.**

Un sistema de control está definido como un **conjunto de componentes que pueden regular su propia conducta o la de otro sistema con el fin de lograr un funcionamiento predeterminado**, de modo que se reduzcan las probabilidades de fallos y se obtengan los resultados buscados. Estos sistemas se utilizan para sustituir a un trabajador pasivo que controla una determinado sistema (ya sea eléctrico, mecánico, etc.) con una posibilidad nula o casi nula de error, y un grado de eficiencia mucho más grande que el de un trabajador. Los sistemas de control más modernos en ingeniería automatizan procesos en base a muchos parámetros y reciben el nombre de **Controladores de Automatización Programables (PAC)**.

Un sistema de control establece **medidas para corregir las actividades**, de forma que se puedan alcanzar los planes deseados de forma exitosa, determina y **analiza rápidamente las causas que producen la desviación** para que en un futuro no se vuelvan a producir, proporciona **información sobre la situación** de la ejecución de los planes, **reduce costos y ahorra tiempo** al evitar que se vuelvan a producir errores pasados. Su aplicación incide directamente en la racionalización de la administración y consecuentemente, en el logro de la productividad de todos los recursos de la empresa.

A la hora de aplicar un sistema de control se deben tener en cuenta cuatro factores que son: **la cantidad, el tiempo, el costo y la calidad**. El factor de cantidad se aplica a las actividades en las que el volumen se considera importante. El tiempo sirve para controlar las fechas programadas. El costo se utiliza como un indicador de la eficiencia. Y por último la calidad se refiere a las especificaciones que se deben reunir en un cierto producto o en ciertas funciones de una empresa.

Los sistemas de control tienen como **objetivo ser estables y robustos** frente a perturbaciones y errores en los modelos; **y ser eficientes** según el comportamiento preestablecido, evitando así comportamientos bruscos e irreales.

## 2.2 CLASIFICACION DE LOS SINTEMAS DE CONTROL.

Los sistemas de control son agrupados en tres tipos básicos que son: los **realizados por las personas, los naturales y los mixtos.**

### 2.2.1 SISTEMAS HECHOS POR LAS PERSONAS.

Como su propio nombre indica, estos sistemas de control han sido realizados por las personas para controlar distintas propiedades de un proceso.

Los sistemas eléctricos o electrónicos están permanentemente capturando señales del estado del sistema y al detectar una desviación de los parámetros pre-establecidos del funcionamiento normal del sistema, **actúan mediante sensores y actuadores**, para llevar al sistema de vuelta a sus condiciones normales de funcionamiento.

Un claro ejemplo de sistema realizado por las personas sería un termostato, el cual capta consecutivamente señales de temperatura. En el momento en que la temperatura desciende o aumenta y sale del rango, este actúa encendiendo un sistema de refrigeración o de calefacción.

Los sistemas realizados por las personas se pueden clasificar según distintos parámetros:

- Según su causalidad pueden ser:
  - **CAUSALES.** Un sistema es causal si existe una **relación de causalidad** entre las salidas y las entradas del sistema, más explícitamente, entre la salida y los valores futuros de la entrada.
  - **NO CAUSALES.**
- Según el número de entradas y salidas del sistema:
  - **DE UNA ENTRADA Y UNA SALIDA.**
  - **DE UNA ENTRADA Y MULTIPLES SALIDAS.**
  - **DE MULTIPLES ENTRADAS Y UNA SALIDA.**
  - **DE MULTIPLES ENTRADAS Y MULTIPLES SALIDAS.**
- Según la ecuación que define el sistema:
  - **LINEAL.** Definido por una ecuación diferencial lineal.
  - **NO LINEAL.** Definido por una ecuación diferencial no lineal.



- Según sean o no las señales o variables de los sistemas dinámicos función del tiempo:
  - De **TIEMPO CONTINUO**. Si el modelo del sistema es una ecuación diferencial, y por tanto **el tiempo se considera infinitamente divisible**.
  - De **TIEMPO DISCRETO**. Si el sistema está definido por una **ecuación por diferencias**. El tiempo se considera dividido en **períodos de valor constante**. Los valores de las variables son **digitales** y su valor solo se conoce en cada período.
  - De **EVENTOS DISCRETOS**. Si el sistema evoluciona de acuerdo con variables cuyo valor se conoce al producirse un determinado evento.
- Según la relación entre las variables de los sistemas:
  - **ACOPLADOS**. Dos sistemas están acoplados cuando las **variables** de uno de ellos están **relacionadas** con las del otro sistema.
  - **DESACOPLADOS**. Dos sistemas están desacoplados si las **variables** de ambos sistemas **no tienen ninguna relación**.
- Según la evolución de las variables de un sistema en el tiempo y el espacio:
  - **ESTACIONARIOS**. Cuando sus **variables son constantes en el tiempo y en el espacio**.
  - **NO ESTACIONARIOS**. Cuando sus **variables no son constantes en el tiempo o en el espacio**.
- Según sea la respuesta del sistema (valor de la salida) respecto a la variación de la entrada del sistema:
  - **ESTABLE**. Si ante una variación muy rápida de la entrada se produce una **respuesta acotada** de la salida.
  - **INESTABLE**. Si ante una entrada muy rápida se produce una **respuesta no acotada** de la salida.
- Según comparen o no la entrada y la salida de un sistema, para controlar la salida:
  - **LAZO ABIERTO**. Si cuando **la salida** para ser controlada, **no se compara** con el valor de la señal de entrada o señal de referencia.
  - **LAZO CERRADO**. Si cuando **la salida** para ser controlada, **se compara** con la señal de referencia. La señal de salida que es llevada junto a la señal de entrada, para ser comparada, se denomina señal de **retroalimentación**.
- Según la posibilidad de predecir la respuesta del sistema:
  - **DETERMINISTA**. Si cuando su **comportamiento futuro es predecible** dentro de unos límites de tolerancia.
  - **ESTOCASTICO**. Si es **imposible predecir el comportamiento futuro**. Las variables del sistema se denominan **aleatorias**.

### **2.2.2 SISTEMAS NATURALES.**

Un ejemplo claro de un sistema de control natural serían los **movimientos corporales** humanos, así como **el acto de indicar un objeto** que incluye como componentes del sistema de control biológico los ojos, el brazo, la mano, el dedo y el cerebro del hombre.

En la entrada se procesa el movimiento y la salida es la dirección hacia la cual se hace referencia.

### **2.2.3 SISTEMAS MIXTOS.**

Un sistema de control mixto está **formado tanto por sistemas de control realizados por las personas como por sistemas naturales.**

Un ejemplo de sistema de control mixto sería un conductor con su vehículo. Este sistema está compuesto por los ojos, las manos, el cerebro y el vehículo. La entrada se manifiesta en el rumbo que el conductor debe seguir sobre la vía y la salida es la dirección actual del automóvil.

Otro ejemplo puede ser las decisiones que toma un político antes de unas elecciones. Éste sistema está compuesto por ojos, cerebro, oídos y boca. La entrada se manifiesta en las promesas que anuncia el político y la salida es el grado de aceptación de la propuesta por parte de la población.

## 2.3 SISTEMAS DE LAZO ABIERTO Y SISTEMAS DE LAZO CERRADO.

Según su comportamiento existen dos clases de sistemas de control: **sistema de control de lazo abierto** y **sistema de control de lazo cerrado**.

### 2.3.1 SISTEMAS DE LAZO ABIERTO.

Un sistema de lazo abierto es aquel sistema en el que **solo actúa el proceso sobre la señal de entrada y da como resultado una señal de salida independiente a la señal de entrada**, pero basada en la primera. Esto significa que no hay retroalimentación hacia el controlador para que éste pueda ajustar la acción de control. Es decir, la señal de salida no se convierte en señal de entrada para el controlador.

Los elementos básicos que podemos encontrar en un sistema de control de lazo abierto son tres:

- **Elemento de control**: este elemento determina que acción se va a tomar dada una entrada al sistema de control.
- **Elemento de corrección**: este elemento responde a la entrada que viene del elemento de control e inicia la acción para producir el cambio en la variable controlada al valor requerido.
- **Proceso**: es el sistema en el que se va a controlar la variable. También se llama **planta**.

Hay veces en las que los dos primeros elementos se unen para formar el **elemento controlador**.

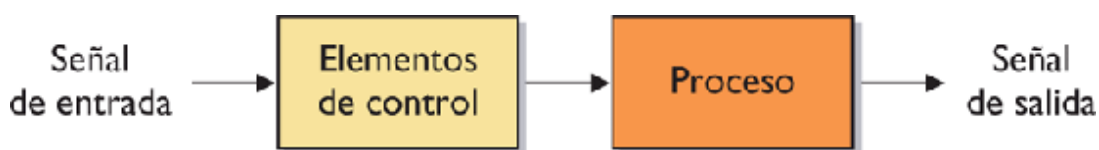


Figura 2.1 Esquema de un Sistema de Lazo Abierto.

Un ejemplo de sistema de lazo abierto sería un calefactor eléctrico utilizado para calentar una habitación. En este caso, la variable a controlar sería la temperatura de la habitación, el elemento de control sería una persona que toma las decisiones relativas a la temperatura, el interruptor y el calefactor serían el elemento de corrección, y la habitación sería el proceso.

Los sistemas de lazo abierto se caracterizan por ser sencillos y de fácil concepto. Su estabilidad ante una perturbación no está asegurada (puede ser afectado por las perturbaciones), la salida no se compara con la entrada y su precisión depende de la calibración del sistema.

### 2.3.2 SISTEMAS DE LAZO CERRADO.

Los sistemas de lazo cerrado son los sistemas en los que **la acción de control está en función de la señal de salida**. Los sistemas de circuito cerrado usan la **retroalimentación** desde un resultado final para ajustar la acción de control.

El control en lazo cerrado es imprescindible cuando se da alguna de las siguientes circunstancias: cuando un proceso no es posible de regular por el hombre, cuando existe una producción a gran escala que exige grandes instalaciones y el hombre no es capaz de manejar y cuando vigilar un proceso puede resultar especialmente duro o se requiera una gran atención (el hombre puede distraerse y se pueden producir errores).

En un sistema de lazo cerrado se pueden encontrar los siguientes elementos básicos:

- **Elemento de comparación:** este elemento **compara el valor requerido con el valor medido** que se obtiene a la salida, y produce una señal de error que indica la diferencia entre dichos valores.
- **Elemento de control:** en él se **decide que acción tomar** cuando se recibe la señal de error.
- **Elemento de corrección:** se utiliza para **producir un cambio en el proceso** al eliminar el error. Con frecuencia se les denomina **actuador**.
- **Elemento proceso o planta:** es el sistema donde **se controla la variable**.
- **Elemento de medición:** este elemento produce una señal relacionada con la condición de la variable controlada, y **proporciona la señal de realimentación** al elemento de comparación para detectar si hay o no error.

Un ejemplo de sistema de control de lazo cerrado sería el sistema utilizado para mantener constante el nivel de agua en un tanque. El valor de referencia es la posición inicial en el brazo de flotador, de modo que se cierra el suministro en el nivel deseado. Cuando el agua sale del tanque, el flotador baja con el nivel de agua. Esto propicia que el brazo del flotador se mueva y permita que el agua entre en el tanque. Este flujo continúa hasta que el flotador sube a una altura tal, que haya movido el brazo del flotador y cerrado el suministro de agua.

En el ejemplo anterior la variable controlada sería el nivel de agua, el valor de referencia sería la posición inicial del brazo del flotador, el elemento comparador es el brazo del flotador, la señal de error vendría determinada por la diferencia entre la posición real del brazo y su posición inicial, el brazo pivotante sería el elemento de control, el elemento de corrección es la aleta de apertura o cierre del suministro de agua, el agua en el tanque es el proceso y el dispositivo de medición el flotador y el brazo que lo sostiene.

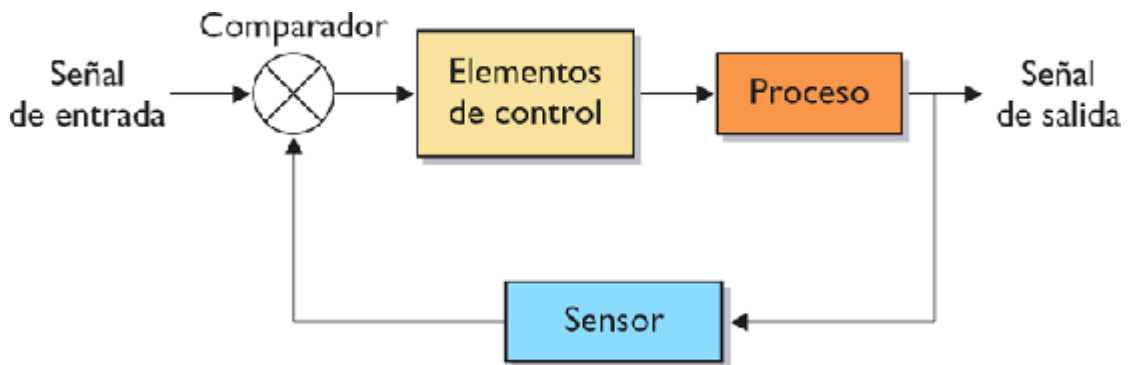


Figura. 2.2 Esquema de un Sistema de Lazo Cerrado.

Los sistemas de control de lazo cerrado se caracterizan por ser complejos, comparar la salida con la entrada. Tienen la propiedad de la retroalimentación (medio a través del cual una señal relacionada con la variable real obtenida se realimenta para compararse con la señal de referencia) y son más estables a perturbaciones y vibraciones internas.

### 2.3.3 COMPARACION ENTRE LOS SISTEMAS DE LAZO ABIERTO Y LOS SISTEMAS DE LAZO CERRADO.

Las ventajas que tienen la realimentación, y por tanto, un sistema de lazo cerrado en comparación con un sistema de lazo abierto son las siguientes:

- Es **más exacto**.
- Es **menos sensible** a las **perturbaciones**.
- Es **menos sensible a cambios** en las características de los componentes.
- Tienen una **mayor velocidad de respuesta** y, por lo tanto, el intervalo de frecuencias en los que el sistema responde es mayor.

Pero no todo son ventajas, también existen algunos inconvenientes son la **inestabilidad** y que son sistemas **más complejos** y por lo tanto **más caros**.

## 2.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE CONTROL:

- **Señal de Corriente de Entrada:** es un **estímulo aplicado** a un sistema desde una fuente de energía externa con el propósito de que el sistema produzca una respuesta específica.
- **Señal de Corriente de Salida:** es la **respuesta obtenida** por el sistema que puede o no relacionarse con la respuesta que implicaba la entrada.
- **Variable Manipulada:** es el elemento al cual se le **modifica su magnitud**, para lograr la respuesta deseada. es decir, se manipula la entrada del proceso.
- **Variable Controlada:** es el **elemento que se desea controlar**. Se puede decir que es la salida del proceso.
- **Conversión:** mediante receptores se **generan las variaciones** o cambios que se producen en la variable.
- **Variaciones Externas:** son los **factores que influyen en la acción de producir un cambio** de orden correctivo.
- **Fuente de Energía:** es la que **proporciona la energía** necesaria para generar cualquier tipo de actividad dentro del sistema.
- **Retroalimentación:** la retroalimentación es una característica importante de los sistemas de control de lazo cerrado. Es una relación secuencial de causas y efectos entre las variables de estado. Dependiendo de la acción correctiva que tome el sistema, este puede apoyar o no una decisión, cuando en el sistema se produce un retorno se dice que hay una retroalimentación negativa; si el sistema apoya la decisión inicial se dice que hay una retroalimentación positiva.
- **Variables de fase:** son las **variables que resultan de la transformación** del sistema original a la forma canónica controlable. De aquí se obtiene también la matriz de controlabilidad cuyo rango debe ser de orden completo para controlar el sistema.

## 2.5 ESTABILIDAD Y RESPUESTA DE LOS SISTEMAS DE CONTROL:

Se dice que un sistema es estable si cuando está sujeto a una entrada o perturbación acotada entonces la salida es acotada. **Una salida o entrada acotada es aquella que tiene una magnitud finita.**

La condición para estabilidad también se puede expresar como que un sistema es estable si al excitarlo con un impulso la salida regresa eventualmente a cero.

Los sistemas de control de **lazo abierto** son, por lo general, **estables**. Una entrada finita produce una salida finita y que en forma indefinida no cambia con el tiempo. Al aumentar la función de transferencia de un elemento en un sistema de lazo abierto no tiene efecto en la estabilidad del propio sistema.

Sin embargo, **los sistemas de control de lazo cerrado pueden mostrar inestabilidad**, que se puede presentar como resultado de tiempos de retardo que ocurren entre el cambio en la variable y la señal de realimentación resultante de la respuesta del sistema.

Las respuestas de un sistema de control, o de un elemento del sistema, están formada por: **la respuesta en estado estable y la respuesta transitoria**. La respuesta transitoria es la parte de la respuesta de un sistema que se presenta cuando hay un cambio en la entrada y desaparece después de un corto intervalo de tiempo. La respuesta en estado estable es aquella que permanece después de que desaparecen todos los transitorios.

Cuando se aplica una entrada a un sistema de control, se espera que después de que desaparezcan todos los efectos transitorios, la salida se asentará al valor del comando. El error entre este valor y el comando de entrada se llama error en estado estable. El error en cualquier sistema es la diferencia entre la señal de salida requerida y la señal real que se presenta.

## 2.6 MODELOS DE SISTEMAS.

Para poder analizar un sistema de control necesitamos modelos matemáticos de los elementos empleados en dichos sistemas. Estos modelos son **ecuaciones** que **representan la relación entre la entrada y la salida** del sistema. Las bases de todo modelo matemático provienen de las leyes físicas fundamentales que gobiernan el comportamiento de un elemento.

A partir de una variedad de bloques funcionales, es posible la creación de sistemas. Cada bloque tiene una función y unas propiedades únicas. Al combinar los bloques funcionales de diferentes maneras es posible lograr una gran cantidad de sistemas eléctricos y las relaciones entrada-salida globales, que se obtienen para dichos sistemas, son a partir de la combinación de las relaciones causa-efecto de cada bloque funcional. Un sistema formado de esta manera se llama **sistema de parámetros concentrados**, debido a que cada parámetro (propiedad o función) se considera de forma independiente.

Para describir por completo el comportamiento de un sistema el modelo debe tener en cuenta la relación entre las entradas y las salidas, las cuales son función del tiempo y son capaces de describir comportamientos transitorios y en estado estable. Por eso se necesitará un modelo que indique cómo variará la respuesta del sistema con el tiempo.

### 2.6.1 ECUACIONES DEFERENCIALES.

Un tipo de modelo utilizado para describir el comportamiento de un sistema o de un elemento del sistema es la ecuación diferencial. **Una ecuación diferencial es una ecuación en la que intervienen derivadas de una o más funciones.**

Dependiendo del número de variables independientes respecto de las que se deriva, las ecuaciones diferenciales se dividen en:

- **Ecuaciones diferenciales ordinarias**: aquellas que contienen **derivadas respecto a una sola variable** independiente.
- **Ecuaciones en derivadas parciales**: aquellas que contienen **derivadas respecto a dos o más variables**.

Este modelo incluye derivadas respecto al tiempo, por lo que nos proporciona una información de cómo varía la respuesta del sistema con el tiempo.

Un método muy utilizado para la resolución de ecuaciones es la *Transformada de Laplace* que transforma una ecuación diferencial en una ecuación algebraica más fácil de resolver.



## 2.6.2 DIAGRAMAS DE BLOQUES.

Establecer modelos para sistemas complicados es el resultado de enlazar algunos subsistemas o elementos que tienen su propia función de transferencia. Los diagramas de bloques se pueden utilizar para **representar cada uno de estos subsistemas y, el sistema como un todo.**

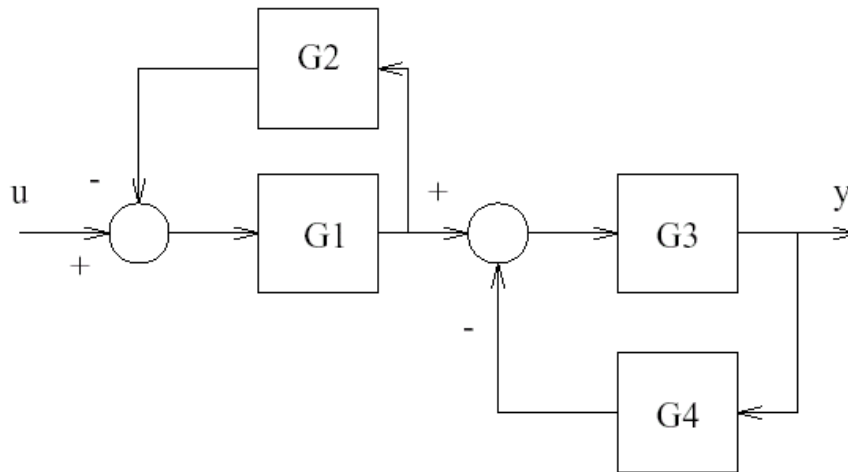


Figura 2.3 Esquema de un Diagrama de Bloques.

En un diagrama de bloques se muestra la representación de los elementos de un diagrama de bloques. Las flechas representan las direcciones de flujo de la señal. Un punto suma es aquel en el que las señales se suman algebraicamente. Un punto de separación indica que de algún punto de la trayectoria de la señal se toma parte de la señal. El término trayectoria directa se usa para los elementos a través de los cuales pasa la señal en la dirección entrada-salida a lo largo del sistema. La trayectoria de realimentación se usa para los elementos por los cuales pasa la señal cuando se alimenta de regreso desde la salida hacia la entrada. Una trayectoria de prealimentación es aquella en la que los elementos están en paralelo con la trayectoria directa y a través de los cuales la señal se mueve en la misma dirección, entrada-salida.

## 2.7 EQUIPO BASICO DE UN SISTEMA DE CONTROL.

Entre los elementos básicos de un sistema de control se encuentran los **elementos de medición y los elementos de corrección**, que pueden ser electrónicos, electroneumáticos o hidráulicos.

### 2.7.1 ELEMENTOS DE MEDICION.

- **POTENCIOMETRO.**

Un potenciómetro es un aparato utilizado para la **medición de la diferencia de potencial eléctrico**. Un potenciómetro con una pista de resistencia uniforme produce una señal de voltaje proporcional al desplazamiento del contacto deslizante desde un extremo de la pista de resistencia del potenciómetro.

Un par de potenciómetros pueden ser utilizados como un detector de error: uno convierte el desplazamiento de entrada en un voltaje y el otro, el desplazamiento real también en un voltaje; los dos se conectan de manera que obtengamos la diferencia entre los voltajes.

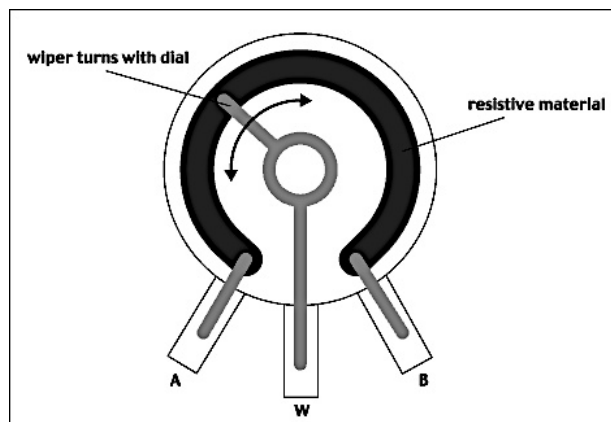


Figura 2.4 Esquema Interno de un Potenciómetro Circular.

- **TRANSFORMADOR DIFERENCIAL DE VARIACION LINEAL.**

El transformador diferencial de variación lineal **proporciona una salida de voltaje alterna que tiene una amplitud relacionada con la posición de un núcleo de hierro**.

Cuando al devanado primario se le aplica una corriente alterna, se inducen voltajes de alterna en cada uno de los devanados secundarios. Cuando el núcleo de hierro se centra entre los dos devanados, en cada uno de ellos se tiene un voltaje igual en cada devanado. Los voltajes de salida de los dos devanados están conectados de tal

forma que la salida combinada es la diferencia entre ellos. Cuando el núcleo está en el centro no hay salida, y cuando se desplaza hay una mayor cantidad de él en un devanado que en otro; así, los voltajes no son iguales y se produce una salida.

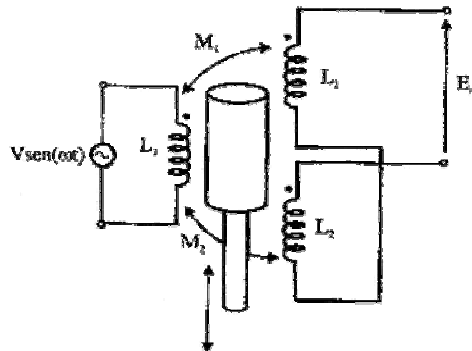


Figura 2.5 Esquema de un Transformador Diferencial de variación Lineal.

- **EXTENSOMETRO DE RESISTENCIA ELECTRICA.**

Los extensómetros de resistencia eléctrica también son llamados **galgas extensométricas**. Cuando se estira un alambre metálico o una tira de semiconductor su resistencia cambia. **El cambio en la resistencia es proporcional al cambio del esfuerzo.**



Figura 2.6 Esquema de un Extensómetro de Resistencia Eléctrica.

- **TACOMETRO.**

Los tacómetros son sensores que **producen una salida eléctrica en relación con la velocidad a la que se gira**. Existen dos tipos fundamentales: los **tacómetros de corriente directa** y los **tacómetros de corriente alterna**.

Los **tacómetros de corriente directa** son un **generador con un magneto permanente** que produce un campo magnético en el que puede girar un devanado, y cuando éste gira se produce una fuerza electromotriz.

Los **tacómetros de corriente alterna** están formados por un **cilindro giratorio** y **dos devanados** en ángulos rectos. Al aplicar una corriente alterna a uno de los devanados, el otro produce una salida proporcional a la velocidad de rotación del cilindro.

El voltaje de salida en los tacómetros es proporcional a la razón de cambio en la posición angular del eje del medidor.

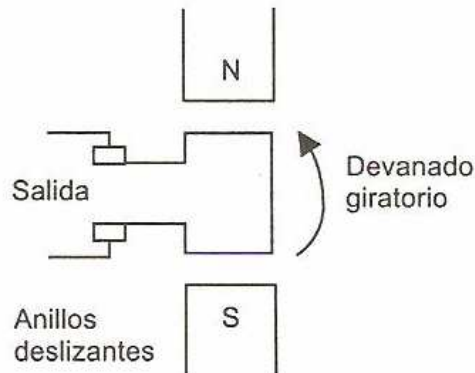


Figura 2.7 Esquema de un Tacómetro.

- **CODIFICADOR.**

Un codificador es un dispositivo que **proporciona una salida digital** como resultado de un desplazamiento angular o lineal. Un **codificador incremental detecta cambios en el desplazamiento** angular o lineal de algún dato de posición y un **codificador absoluto proporciona la posición** angular o lineal real.

En un disco se hace incidir la luz procedente de un LED, que es capaz de pasar a través de las ranuras del disco, para detectarlo mediante un sensor luminoso. Cuando gira el disco, el haz de luz se transmite de forma intermitente. Así, se produce una salida en forma de pulsos a partir del sensor luminoso.

El codificador absoluto se diferencia del incremental en que tiene un patrón de ranuras que sólo define cada posición angular mediante un patrón de señales de encendido-apagado producidas.

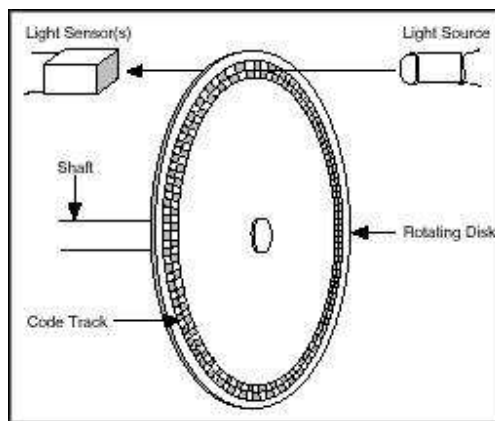


Figura 2.8 Componentes de un Codificador.

- **SINCROS.**

Los sincros son **pequeños transformadores giratorios de una sola fase que convierten el desplazamiento angular en voltaje de corriente de alterna**, o el voltaje corriente alterna en un desplazamiento angular.

Un sincro esta formado por **tres devanados de estator** separados 120° alrededor de **un estator** cilíndrico, y **un devanado de rotor** concéntrico interior que gira de forma libre entre los devanados de estator. La corriente alterna de entrada en el devanado de rotor produce salidas en forma de en cada devanado secundario. Éstas salidas dependen de la posición angular del rotor.

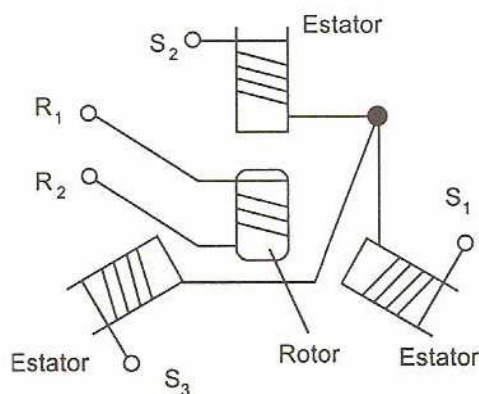


Figura 2.9 Esquema de un Sincro.

- **DETECTOR DE TEMPERATURA POR RESISTENCIA.**

El detector de temperatura por resistencia (**RTD**) se utiliza para **controlar la temperatura**.

La resistencia eléctrica de los metales o de los semiconductores varía con la temperatura de forma lineal.

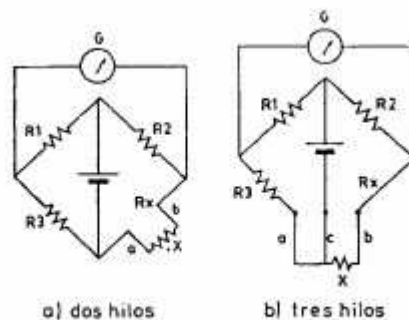


Figura 2.10 Esquema de Conexión de un RTD.

### 2.7.2 ELEMENTOS ELECTRONICOS DE CORRECCION.

- **MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA.**

Los motores de corriente directa son utilizados como **elementos de corrección** en los sistemas de control.

El motor de corriente directa básico **está formado por bobinas** de alambre montadas en ranuras sobre un cilindro de material ferromagnético, llamado **devanado de armadura**, y a su vez, sobre **rodamientos**; de modo que gira libremente en un campo magnético producido por una corriente que pasa a través de las bobinas de alambre, llamadas **bobinas de campo o devanado de campo**. Tienen unas escobillas que se utilizan para invertir la corriente cada medio giro.

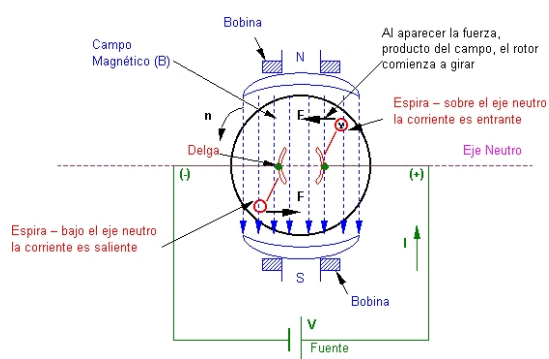


Figura 2.11 Motor de Corriente Directa.

- **MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA SIN ESCOBILLAS.**

En estos motores se usa **un imán permanente** para producir el campo magnético, que gira dentro del devanado estacionario.

La velocidad de rotación se puede controlar usando modulación por ancho de pulso.

Se usan circuitos electrónicos para invertir la corriente y proveer la conmutación.

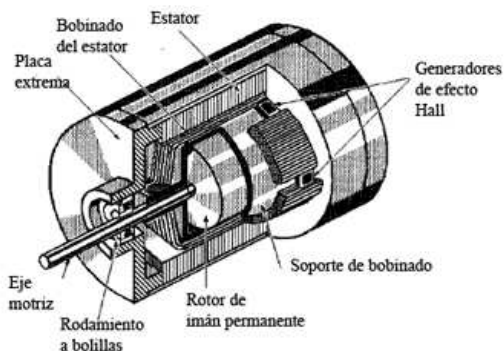


Figura 2.12 Motor de Corriente Directa sin escobillas.

- **MOTOR DE CORRIENTE ALTERNA.**

Los motores de corriente alterna constan de dos partes básicas: un cilindro giratorio llamado **rotor** y una parte estacionaria llamada **estator**. El estator rodea al rotor y tiene los devanados que producen el campo magnético, el cual hace que gire el rotor.

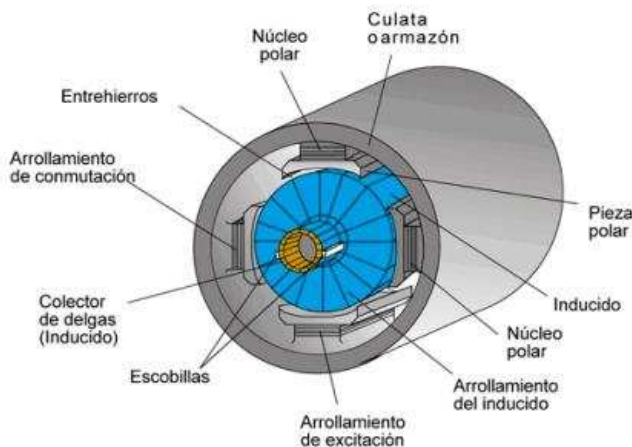


Figura 2.13 Motor de Corriente Alterna.

- **MOTOR DE PASOS O MOTOR PASO A PASO.**

El motor de pasos **produce una rotación angular** igual al ángulo de paso de cada pulso digital aplicado a su entrada.

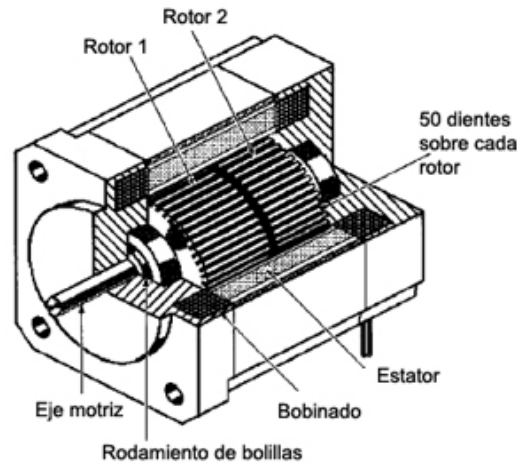


Figura 2.14 Motor de Pasos.

### 2.7.3 ELEMENTOS DE CORRECCION ELECTRONEUMATICOS O HIDRAULICOS.

En muchos sistemas de control se puede usar una salida eléctrica del controlador para operar una válvula solenoide y aprovechar esta acción para producir una señal neumática o hidráulica que active un dispositivo.

**El solenoide es un núcleo de hierro suave.** Cuando la corriente pasa a través de la bobina se establece un campo magnético que atrae al núcleo de hierro hacia el interior de la bobina.

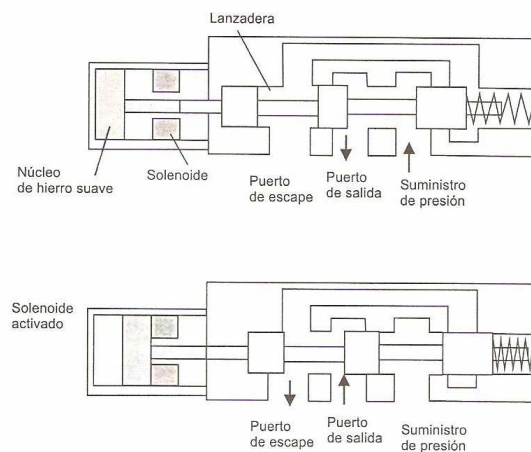


Figura 2.15 Elemento de Corrección Hidráulico.



## 2.8 CONTROL DE LOS PROCESOS DISCRETOS.

Un proceso discreto tiene distintas operaciones, cada una de las cuales tiene una condición definida para reiniciarse.

El control es una secuencia de operaciones. Las secuencias de un proceso pueden estar manejadas por eventos o por tiempos. Una **secuencia manejada por eventos es aquella en la que la segunda operación no puede llevarse a cabo hasta que no finalice la primera**, la tercera no se podrá realizar hasta que no se haya realizado la segunda y así sucesivamente. Y una **secuencia manejada por tiempos es aquella en la que por ejemplo la segunda acción aparece a un determinado tiempo de haber empezado la primera**, no necesita que la primera hay terminado para poder llevarse a cabo la segunda.

Algunos de los modelos utilizados para describir procesos discretos son:

- **LISTAS DE INSTRUCCIONES.**

Una lista de instrucciones **establece con palabras la secuencia de acciones** que se llevan a cabo para cada paso de la secuencia requerida.

- **DIAGRAMAS DE TIEMPOS DEL PROCESO.**

Un diagrama de tiempos del proceso es una gráfica que **describe cada una de las operaciones de la secuencia como funciones del tiempo.**

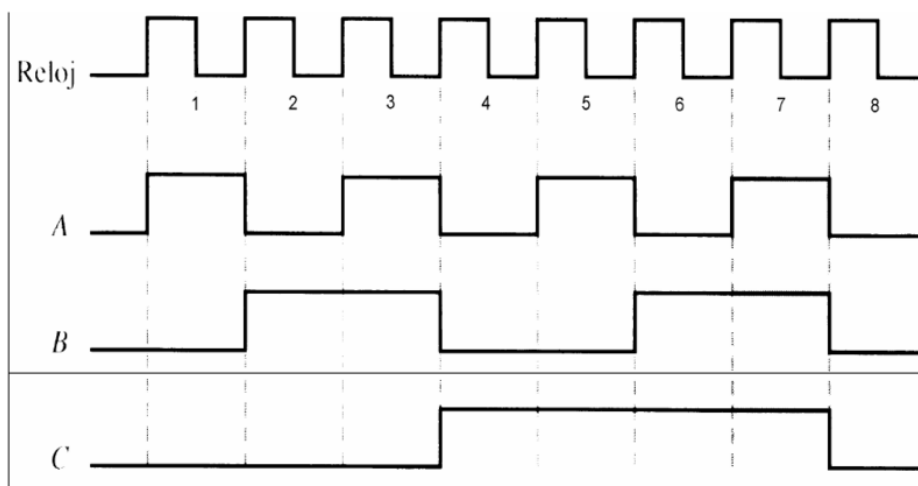


Figura 2.16 Diagrama de Tiempos de un Proceso.

• **DIAGRAMAS DE ESCALERA.**

Los diagramas de escalera **muestran cada paso en el proceso como el escalón de una escalera.** Los lados verticales de la escalera están conectados a la alimentación de voltaje y los escalones son circuitos con interruptores como entradas y dispositivos que se encienden y se apagan por la acción de los interruptores en un escalón de salida.

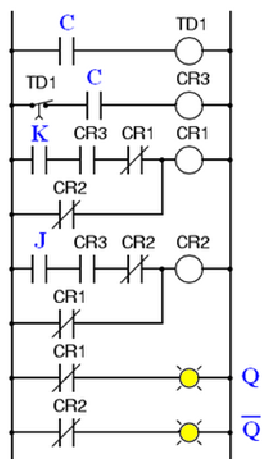


Figura 2.17 Diagrama de Escalera.

• **DIAGRAMAS DE FLUJO.**

Un diagrama de flujo **usa bloques para representar cada paso y líneas para mostrar la trayectoria posible** de un paso a otro.

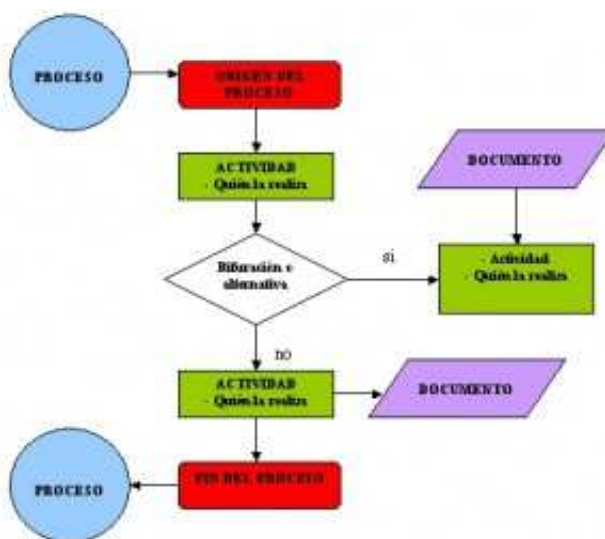


Figura 2.18 Diagrama de Flujo.

- **DIAGRAMAS DE FUNCIONES SECUENCIALES.**

Para representar cada paso, estos diagramas **usan bloques unidos con líneas que indican las transiciones de un paso a otro.**

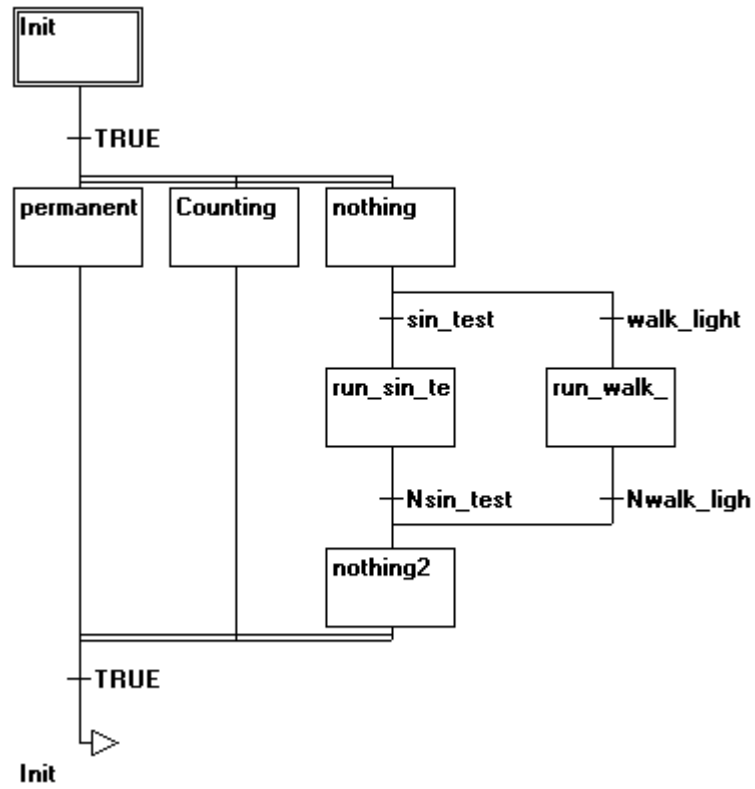


Figura 2.19 Diagrama de Funciones Secuenciales.

## 2.9 EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS DE CONTROL.

### 2.9.1 SISTEMAS DE DATOS DE FORMULACION.

Todo proceso tiene alguna materia prima como entrante. La mayor parte de los procesos tienen más de un componente en el producto que se desea fabricar, por lo que la calidad final del producto **depende de la cantidad** utilizada de cada uno de los componentes utilizados. Estos procesos también **dependen de la intensidad con la que son suministrados los ingredientes.**

Según el número de entradas de los que disponga la fábrica, se pueden clasificar las plantas en tres grupos. El primer grupo está formado por las plantas que tienen **una sola entrada y no es ni controlada ni medida**, un ejemplo podría ser una planta de fabricación de patatas fritas. El segundo grupo serían las plantas que tienen **una sola entrada, medida pero no controlada**, como por ejemplo una planta de refinado de aceite. Y el último grupo lo forman las plantas con **más de una entrada**, donde se encuentran la mayoría de los procesos de la industria alimentaria.

A la hora de seleccionar un sistema de control en planta hay que tener en cuenta aspectos como: el número de líneas a suministrar, la forma de producción (continua o por lotes), el número de recetas que se deben manejar, la frecuencia con la que se cambian las recetas, quien está autorizado a cambiar las recetas y si más de una planta pueden utilizar el mismo ingrediente a la vez.

- **DISPENSACION DE INGREDIENTES.**

A la hora de proceder a la dispensación de ingredientes, la cantidad de ingredientes necesarios para la realización de la receta vienen expresados en unidades de peso (polvos y sólidos) o de volumen.

Los sistemas de alimentación pueden ser de dos clases. La primera clase son los **sistemas de alimentación por cocción por extrusión**, donde se pueden mezclar hasta cuatro ingredientes que son conducidos a una tolva de alimentación donde se miden las cantidades de la mezcla. La segunda clase son aquellos **sistemas de alimentación por tornillo de velocidad variable**. Con éste último método se obtiene una medida controlada del granulado y de los polvos.

A la hora de su utilización, los sistemas de pesado por lotes ofrecen una mejor precisión que los sistemas de medida continua, una mayor fiabilidad y pueden utilizar un mayor número de depósitos.

- **MEZCLA DE INGREDIENTES SECOS.**

Al utilizar la mezcla de ingredientes en seco se puede producir el problema de la segregación, ya que pueden llegar a producirse aglomeraciones.

Dentro de la mezcla de ingredientes en seco podemos distinguir tres tipos; la **mezcla correctiva, la difusiva y la cortante**. En la **mezcla correctiva** el material es

**reciclado desde la tolva de descarga** a la de alimentación. En la **mezcla difusiva** las partículas **se destruyen en el mezclador**, en una superficie que se halla en su interior. Y por último, el sistema que utiliza unos **planos deslizantes para la mezcla** de las partículas, se llama **mezcla cortante**.

El método de mezcla en ingredientes secos se utiliza en la fabricación de batidos, salchichas y leche en polvo.



Figura 2.20 Mezcladora de Ingredientes.

- **MEZCLA DE FLUIDOS.**

En lugar de utilizar la mezcla de ingredientes en seco, se puede utilizar la mezcla de fluidos. La mezcla de fluidos presenta el problema de la **viscosidad de los fluidos** utilizados. Si un fluido es muy viscoso es más probable que el depósito se quede totalmente limpio después de pesar los lotes.

Si se utiliza el método de la dispensación volumétrica el problema que nos encontramos es el aire, que puede producir imprecisiones.

La mezcla de fluidos se utiliza entre otros casos en la fabricación de salsas, mermeladas, margarina y bebidas.



Figura 2.21 Mezcladora de Fluidos.

- **SOFTWARE PARA EL CONTROL DE PROCESOS DISCONTINUOS.**

Los sistemas de control deben de realizar **dos funciones; aquellas sobre las que no interviene el operador de planta y aquellas que el operador de planta necesita modificar.** Entre las primeras podríamos destacar los módulos necesarios para la operación de varios elementos del computar, y entre las segundas la lógica de control que se necesita en planta.

Los controladores lógicos disponen de un software fijo en la memoria ROM, son robustos, seguros y tienen una gran fiabilidad.

Las funciones principales de control que debe desarrollar un software son: **las funciones de lazo, la operación unitaria, la receta de control, control de fase y receta básica.**

Este método se aplica a la fabricación de siropes, tartas, bases para helados, pizzas y empaquetado de arroz.

Con este método conseguimos disminuir los costes ya que el software se puede utilizar para diversas tareas con solo realizar unas pequeñas modificaciones.

## **2.9.2 MANEJO DE CONTROLADORES.**

Para obtener una buena optimización en los procesos de fabricación se necesita tanto de la inteligencia de las personas como de la inteligencia de los computadores. La inteligencia humana proporciona la capacidad de reconocer los patrones, el sentido común y la imaginación; mientras que la inteligencia de los computadores ofrece una alta velocidad, un almacenamiento detallado de la información y una alta fiabilidad.

A la hora de manejar los controladores se pueden utilizar una o varias pantallas donde se ve la información. La ventaja que tiene la utilización de una sola pantalla es el ahorro de espacio, pero presenta el inconveniente de que sólo se ve parte de la información.

Los elementos que componen un controlador deben ser **fiables**, dar la **información de forma clara** y ser **accesibles**.

Pueden presentar el problema de **almacenar demasiada información.**

## **2.9.3 TRANSMISION DE DATOS.**

En todo proceso la transmisión de datos tiene una gran importancia.

Las variables que son medidas con dispositivos analógicos son transmitidas como señales neumáticas o como una corriente eléctrica continua.

Los **métodos para transmitir datos mediante la corriente eléctrica** están muy extendidos ya que **son inmunes a los cambios de impedancias** y al ruido.

Al modular la señal se mejora la protección frente a las interferencias.

Para transmitir datos podemos utilizar **la modulación de frecuencia, la anchura de pulso o la frecuencia de repetición**. También podemos utilizar la **transmisión binaria, en serie, en paralelo, unidireccional o bidireccional**.

#### **2.9.4 REGULACION DE PROCESOS.**

Los sistemas de control necesitan medios para controlar y/o regular los equipos de planta. Los medios más utilizados para ello son **los relés, los contactores, los relés de estado sólido y los solenoides para la actuación neumática e hidráulica**.

Uno de los métodos más utilizados en la industria alimentaria es la **válvula Zehyr APV**, que **impide la contaminación por agentes externos**. Se utiliza en la **industria cervecera** y en la **industria láctea**.

Las propiedades más importantes de controlar en todo proceso son la temperatura, la velocidad y el caudal. Para su regulación se pueden utilizar válvulas de control de caudal, un motor de velocidad variable, el calentamiento eléctrico de una variable y la modificación de la carrera de un pistón de bomba variable mecánicamente.

#### **2.9.5 CONTROL Y OPTIMIZACION.**

Las técnicas que se agrupan bajo en término de **lazo cerrado**, tienen en común la característica de que **recorren un camino continuo**, desde el sensor que monitoriza un proceso, a través del cual se compara la medida con el valor deseado.

- **CONTROL DE LAZO AISLADO.**

Un sistema de lazo aislado es aquel en el que **todo camino está separado de cualquier otro**, y un operador ajusta el valor de salida que se desea en cada momento.

- **CONTROL ESTADISTICO DE PROCESOS.**

Un controlador estadístico de proceso (SPC) tiene **dos salidas, una para avisar de que se deben realizar ajustes en el proceso y la otra para ayudar a identificar las causas de una posible variación**.

- **AJUSTE DE LAZOS AISLADOS.**

Cuando se realiza el ajuste del lazo, se proporciona al controlador una velocidad y un grado de respuesta que son los adecuados. Para el ajuste **se utilizan controladores modulares** ya que se ajustan por sí mismos.

Las técnicas que se utilizan para el **autoajuste** de los controladores pueden ser cuatro: **la planificación de ganancias, la utilización de un único disparo, el análisis de la forma de honda y la técnica basada en la utilización de modelos.** Cuando se requiere de una respuesta especial es recomendable ajustar la ganancia. Los controladores de único disparo se utilizan en plantas donde el reajuste no es efectivo. Con el análisis de onda se monitorizan los errores para poder realizar cambios a la entrada. Y por último los métodos basados en la utilización de modelos dan una respuesta más cercana a la ideal.

- **CONTROL MULTIVARIABLE.**

En un proceso se dice que **hay acoplamiento cuando al realizar un cambio para modificar el valor de una variable se altera también el valor de otra variable.** Se dice que **hay interacción si además hay acoplamiento en la otra dirección.**

El control multivariable se aplica en los procesos de combustión. Los **procesos de combustión** utilizados en la industria alimentaria son tres: **las calderas de vapor, los calentadores de procesos continuos y los calentadores de procesos discontinuos.**

Existen cuatro **sistemas para controlar los procesos** de combustión que son: **el control maestro, el control de caudal de aire, el control de caudal de fuel y el control de la proporción fuel-aire.**



## 2.10 CONTROL DE LOS PROCESOS DE PRIMERA TRANSFORMACION.

### 2.10.1 HARINA.

La molienda del grano es un ejemplo de una operación que implica la **separación sólido-sólido y la división del material granulado.**

Para moler el trigo y producir harina se utilizan una serie de rodillos cada vez más juntos entre sí. Una vez que el producto en polvo ha pasado por los rodillos se criba. En la criba los granos más bastos se vuelven a someter a los rodillos, los granos medios se vuelven a tamizar y los más finos se conducen al almacén.

La automatización de los molinos para moler harina presenta muchas ventajas. Entre estas ventajas podemos destacar la disminución de las pérdidas de tiempo, permite vigilar la planta, se obtiene una mezcla adecuada, permite controlar mejor la humedad, permite modificar la separación entre los rodillos, permite el control del contenido en proteínas y reduce costes.

El rendimiento de extracción es el mejor indicador para medir la eficiencia de la molienda.

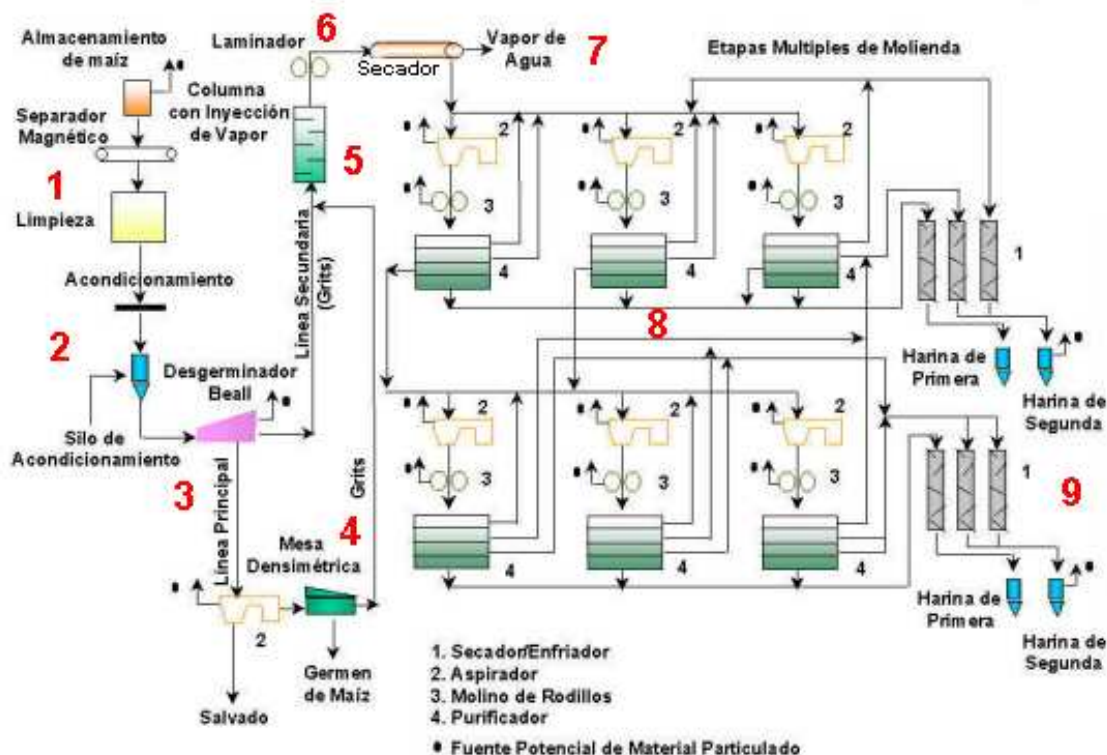


Figura 2.22 Planta de Fabricación de Harina.

### 2.10.2 ALMIDON.

El proceso de secado del almidón es un claro ejemplo de la **separación sólido-líquido**. Para separar las partículas se pueden utilizar **la filtración, la centrifugación o la sedimentación**. La **centrifugación se utiliza para filtrar partículas con alta viscosidad**, es utilizada por ejemplo en el lavado del almidón de maíz y patata. Primero separamos el almidón del gluten en una centrifugadora. Luego el almidón se lava y el gluten es concentrado. Para la hidrólisis del almidón se utilizan tratamientos enzimáticos.

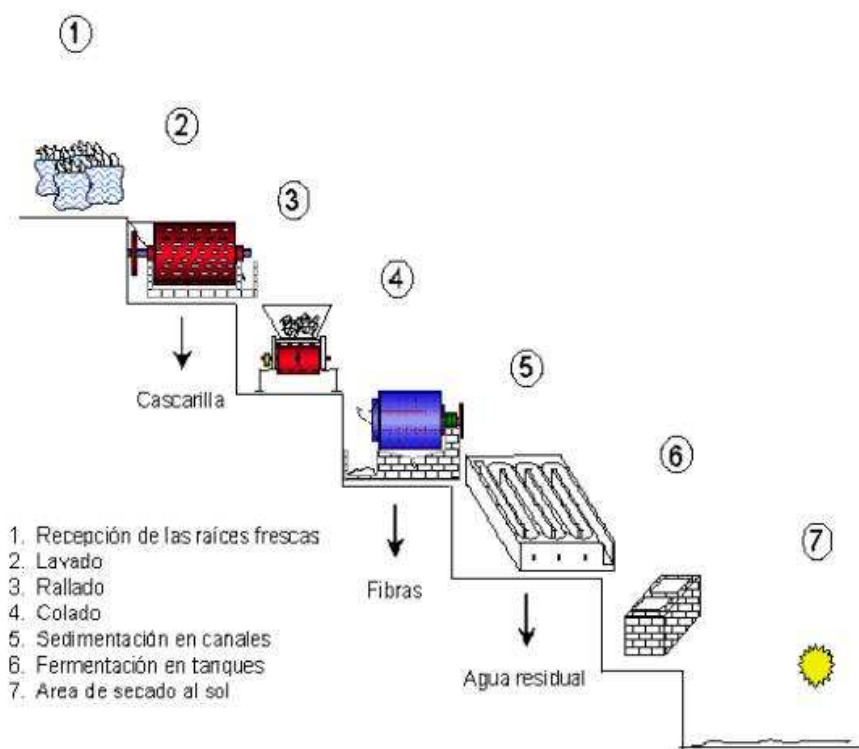


Figura 2.23 Diagrama de Flujo de la Producción de Almidón.

### 2.10.3 AZUCAR.

Para la extracción del azúcar de remolacha o de caña se utilizan seis métodos:

- **Transportadores de tonillos** a contracorriente con el jugo de caña o de remolacha fluyendo por gravedad.
- **Extractores de cadena a contracorriente.**
- **Extractores de flujo cruzado multietapa.**
- **Extractores de tambor.**
- **Extractores de espiral multietapa.**
- **Bacterias de difusión**, sistemas multicolumna con alimentación.

Para conseguir una mayor eficacia en el proceso de fabricación de la harina se pueden utilizar **evaporadores de múltiple efecto** o volver a comprimir el vapor para aumentar su nivel de temperatura. Los evaporadores múltiples se utilizan **para mejorar la eficiencia térmica en la concentración por evaporación**. Estas técnicas (la utilización de evaporadores múltiples) se utilizan en fábricas para la concentración de jarabes y zumos de frutas.

La automatización del evaporador a vacío requiere lazos de realimentación convencionales, control en cascada, lazos con variación programada y control de secuencia.

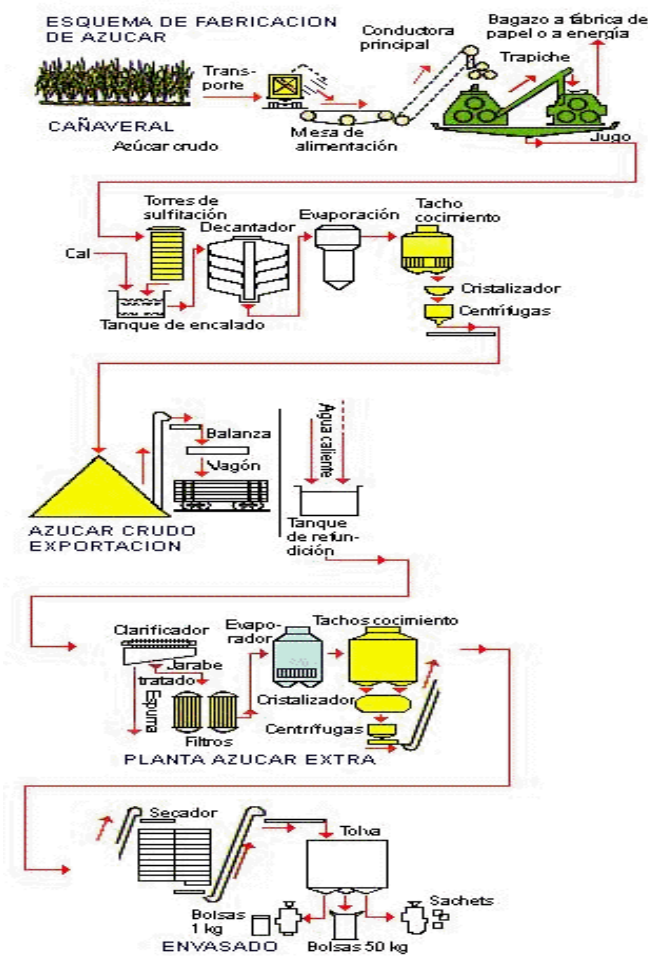


Figura 2.24 Esquema de Fabricación de azúcar.

Con la **evaporación múltiple efecto** se obtiene un **ahorro energético** en aplicaciones como la concentración de jarabe de azúcar. El suministro de producto se puede hacer en primer efecto o en último efecto. La **alimentación en primer efecto** se utiliza **si el alimento es precalentado** y si la calidad del producto se puede ver afectada por las altas temperaturas finales. En la alimentación en último efecto, las últimas etapas precalientan el producto en etapas más frías.

### 2.10.4 LECHE.

Para medir la cantidad de leche que se recibe en una central láctea se utilizan métodos como: **pesar la leche en cubas antes y después del vaciado, pesar los tanques de recepción, controlar los niveles en los tanques de recepción y el uso de caudalímetros.**

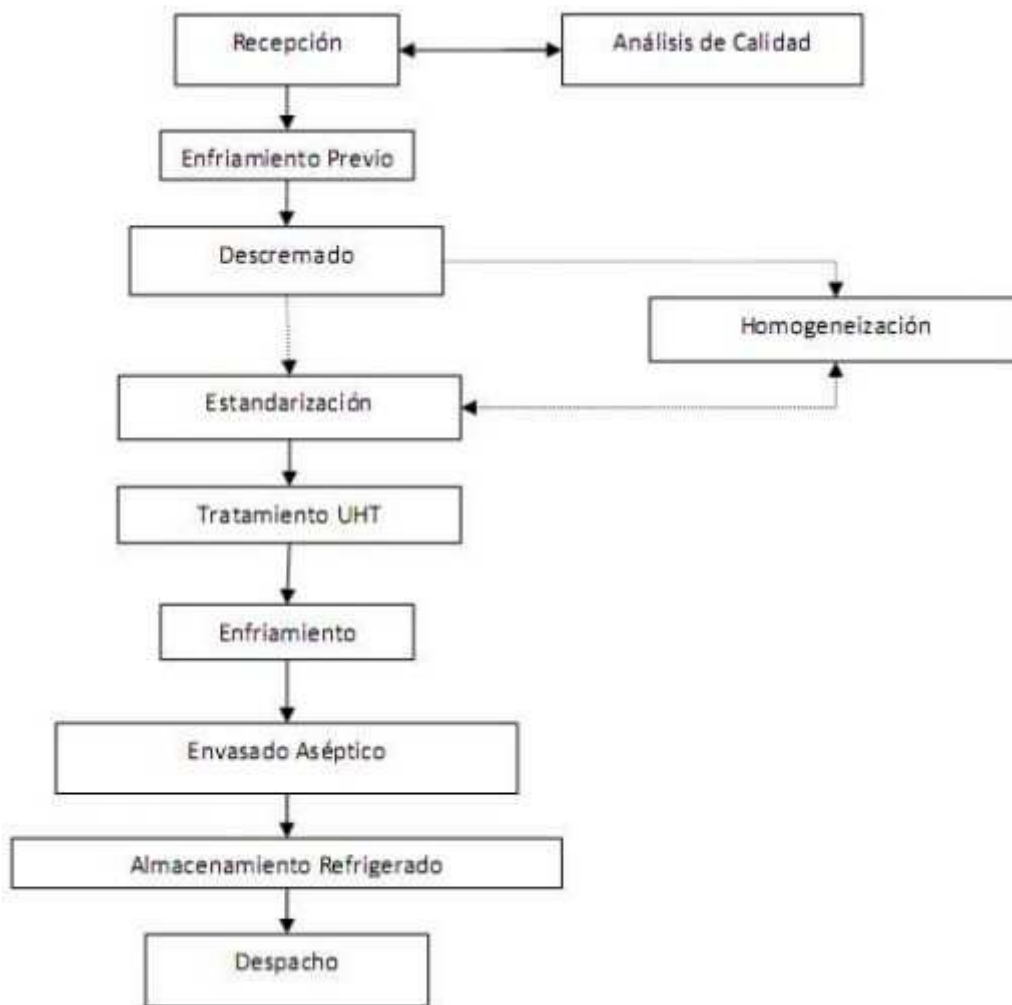


Figura 2.25 Línea de Producción de la Leche.

- **ESTANDARIZACION DE LA LECHE.**

La estandarización de la leche se realiza para **obtener la cantidad deseada de grasa en la leche**, lo que se puede hacer mezclando leche entera con desnatada o con nata.

La separación de la nata de la leche es una **operación de separación líquido-líquido** donde se utiliza una centrifugadora.

Con la estandarización se minimiza el volumen de leche en el proceso y el tiempo de proceso.

- **ATOMIZACION DE LA LECHE.**

La automatización de la leche se basa en la **rápida evaporación del agua**, con la atomización se **consigue separar el producto en partículas muy pequeñas**.

Para obtener una buena eficiencia energética se utiliza un secado para eliminar la humedad residual.

- **PASTEURIZACION Y ESTERILIZACION DE LA LECHE.**

El objetivo de la pasteurización de la leche es la **eliminación de bacterias**. El pasteurizador tiene que estar siempre totalmente lleno de líquido para prevenir que el producto se queme. El control de la temperatura se realiza mediante una sonda a la salida de la sección de calentamiento.

## **2.10.5 ACEITES Y GRASAS.**

Los aceites comestibles se extraen de semillas oleaginosas.

- **REFINADO DE ACEITES COMESTIBLES.**

El alto contenido de humedad de los frutos de palma y de las aceitunas puede producir un elevado nivel de ácidos grasos libres, un mal color y un mal sabor del aceite, por lo que se debe refinar.

El aceite de soja se desgoma mediante tratamientos con agua antes del refinado. El **refinado alcalino** es un método utilizado para **eliminar componentes no deseados** del aceite.

La extracción supercrítica se utiliza para la limpieza de residuos procedentes del refinado del aceite.

- **DESODORIZACION.**

La desodorización (**eliminación de los olores**) se basa en la destilación con vapor.

- **HIDROGENACION.**

La hidrogenación es una técnica de **modificación de las grasas mediante la** utilización de **hidrógeno**.

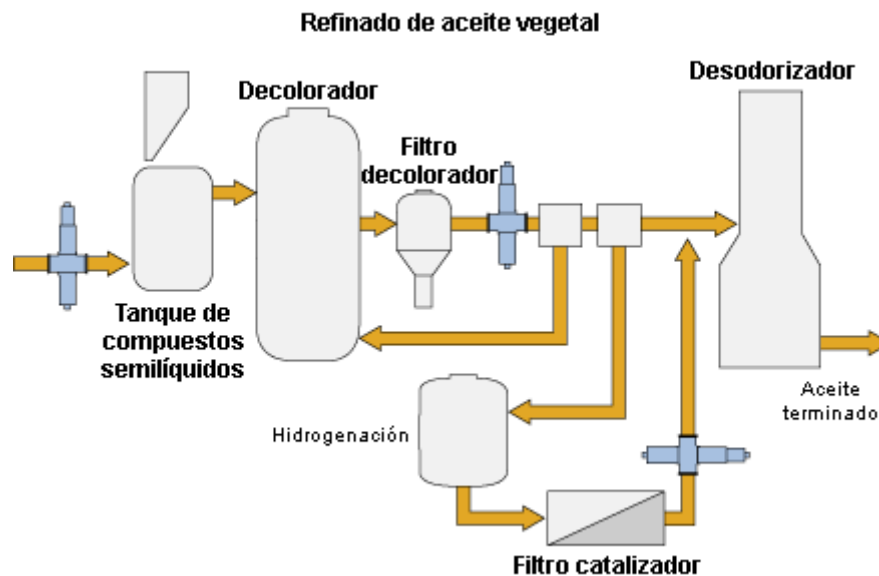


Figura 2.26 Proceso de Refinado de Aceite Vegetal.

## 2.10.6 ZUMOS DE FRUTAS.

- **RECUPERACION DE ACEITES CITRICOS.**

Para la recuperación de aceites críticos se pueden aplicar dos métodos: **la extracción del aceite de la corteza de los cítricos y la extracción de aceite mediante fluidos supercríticos.**

La **extracción del aceite de la corteza de los cítricos aplica** sobre el fruto una **presión** que hace fluir el aceite del interior del fruto. Mediante agua se separa el aceite y los trozos de piel del fruto.

La extracción del aceite mediante fluidos supercríticos consigue una mayor recuperación de producto.

- **TECNOLOGIA DE MEMBRANA.**

Con la tecnología de membranas se han desarrollado métodos de concentración de zumos que necesitan menos energía para su concentración y permiten una buena retención del sabor.

La ultrafiltración tiene algunas ventajas como por ejemplo: el aumento del rendimiento, no necesita de agentes clarificadores, tiene un uso reducido de enzimas, no necesita tratamientos caloríficos, produce una menor cantidad de residuos y su mantenimiento es fácil y sencillo.

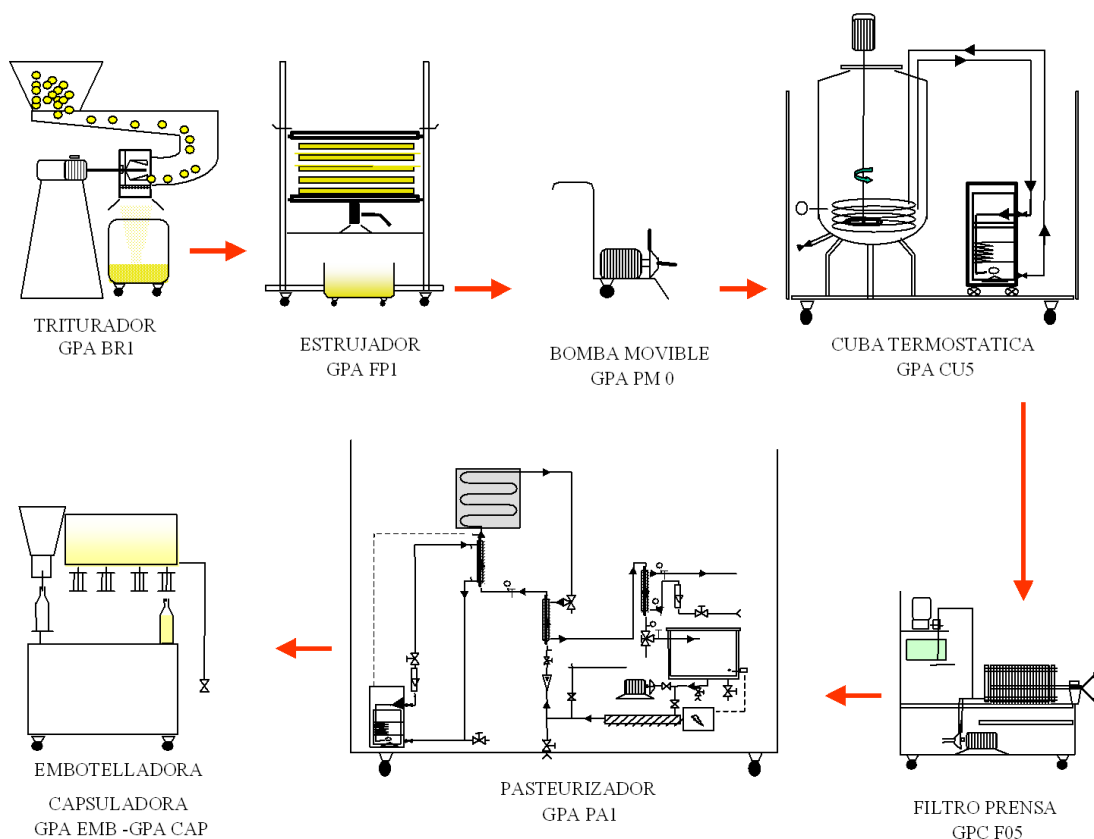


Figura 2.27 Proceso de Elaboración de Zumo.

### 2.10.7 LA FERMENTACION.

La fermentación es una reacción o **descomposición de una sustancia orgánica por la acción de un enzima** o fermento.

La fermentación es muy importante en la producción de alimentos como el pan, el queso o el vino.

- **ENVASES DE FERMENTACION.**

En los fermentadores no se puede controlar el crecimiento celular directamente, por lo que se utilizan sistemas de control externos. Al aplicar procesos de control en la fermentación se obtiene un mayor rendimiento, se aumenta la velocidad de formación de productos, se mantiene la calidad y la uniformidad del producto, con lo que se obtiene una mayor uniformidad en el proceso de fabricación.

- **LEVADURAS DE PANIFICACION.**

La fermentación de levaduras puede realizarse de forma **continua, discontinua o discontinua con alimentación**. El método más utilizado para la obtención de levaduras es el discontinuo con alimentación, ya que permite controlar el crecimiento celular. A veces se puede utilizar un **pre-fermento o esponja para acelerar la fermentación**.



Figura 2.28 Armario para la Fermentación del Pan.

- **DESTILACION.**

La destilación es la operación de **separar, mediante vaporización y condensación, los diferentes componentes** líquidos, sólidos disueltos en líquidos o gases licuados de una mezcla, aprovechando los diferentes puntos de ebullición de cada una de las sustancias.

Se realiza en procesos como la elaboración de vinagres, zumos de frutas, bebidas alcohólicas y en el procesado de aceite.



- **LEVADURA PARA LA ELABORACION DE CERVEZA.**

La elaboración de cerveza tiene una mayor automatización debido fundamentalmente a que la cerveza **se prepara en lotes** de mayor tamaño y a que su mantenimiento es más fácil.

La fermentación en el proceso de la elaboración de la cerveza se puede controlar midiendo la densidad. Hay que tener en cuenta que **la velocidad de fermentación aumenta con la temperatura.**



Figura 2.29 Elaboración de Cerveza.

- **OTROS PROCESOS DE FERMENTACION.**

Una de las principales razones del uso de la fermentación es la de **proteger frente a microorganismos que pueden “envenenar” los alimentos**, ya que durante el proceso se produce una **bajada del pH**.

Algunos de los métodos utilizados en la fermentación son: **el cultivo de hongos sobre residuos celulósicos o cultivar algas como fuente de proteínas.**

## 2.11 PRODUCTOS MANUFACTURADOS.

A la hora de mezclar los elementos hay que tener en cuenta que los productos sólidos, líquidos pastosos, polvos o en forma de grano son más difíciles de mezclar que los productos líquidos.

Los productos manufacturados se realizan en **plantas continuas** y se obtiene una **alta productividad**.

### 2.11.1 COCCION POR EXTRUSION.

La cocción por extrusión se aplica a procesos como la preparación de pastas alimenticias, cereales para el desayuno y alimentos de aperitivos.

- **PASTAS ALIMENTICIAS.**

Las pastas alimenticias se producen a una **temperatura** más bien **baja**, por lo que el aumento de temperaturas producido por el corte y la compresión, se realiza con agua fría.

El **secado** de la pasta se realiza mediante un proceso que está formando por **tres etapas**: **presecado**, etapa de **reposo** y **secado final**. En la etapa de reposo la humedad del producto se reparte uniformemente.

La cocción rápida de la pasta se consigue incrementando el contenido en proteínas.



Figura 2.30 Etapa del Proceso de Elaboración de la Pasta Fresca.

- **OTROS PRODUCTOS DERIVADOS DE LOS CEREALES.**

Algunos productos necesitan una **inyección de vapor** para conseguir el **hinchamiento adecuado de los granos**. Los calentamientos o enfriamientos necesarios para realizar el hinchamiento se realizan mediante agua, vapor o aceite.

La operación de extrusión depende de la velocidad de producción que se fija con anterioridad. En procesos como la fabricación de caramelos, la velocidad viene dada por la velocidad de producción de materia base.

El **amasado** del producto se realiza **en condiciones de vacío**.

- **EXTRUSIÓN DE ALIMENTOS A BASE DE MÚSCULO DE CARNE O DE PESCADO.**

Las propiedades de los componentes de los músculos son muy importantes para la calidad final de productos como embutidos, croquetas de pollo y sucedáneos de marisco. También es muy importante la capacidad de los productos de retención de agua y de grasas.



Figura 2.31 Etapa del Proceso de Elaboración de Embutidos.

- **MODERNIZACION DEL EXTRUSIONADO.**

La respuesta a las variables de proceso se puede modelizar como el resultado del análisis de los balances de materia y energía, mediante la metodología de superficies de respuesta o mediante funciones de transferencia.

### **2.11.2 PANADERIAS.**

El proceso de preparación de la masa se realiza de **forma discontinua**.

- **AMASADORES Y DESARROLLO DE LA MASA.**

La masa para la elaboración de productos panificados se desarrolla después del mezclado y se debe dejar reposar. La temperatura final de la masa depende de: la temperatura de los ingredientes, el calor de hidratación de la harina, la entrada de trabajo y el calor que se extrae por la camisa de enfriamiento.



Figura 2.32 Amasadora de Pan.

- **HORNOS DE PANIFICACION.**

Los hornos más utilizados en el proceso de la fabricación del pan son los que utilizan **gases de combustión**. Estos hornos se utilizan para la fabricación de pan, pasteles y galletas.

Una de las funciones principales del horno es **eliminar el agua** que se ha añadido para realizar la masa.

La fabricación de galletas necesita más energía que la fabricación del pan ya que las galletas tienen un menor contenido de humedad. El calor necesario por el proceso puede ser transmitido por conducción, por convección y por radiación.

- **CONTROL AUTOMATICO DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO HORNEADO.**

A la hora de controlar el proceso de horneado hay que tener en cuenta la temperatura en el centro de la pieza ya que nos indica que el proceso de horneado se ha realizado correctamente. El color de la corteza se puede medir con una sonda, para galletas se utiliza la reflectancia de la superficie.

La variación del volumen de los productos horneados depende de las propiedades de la harina, por lo que tiene que ser controlada. La humedad en la cámara de horneado también debe de ser controlada.

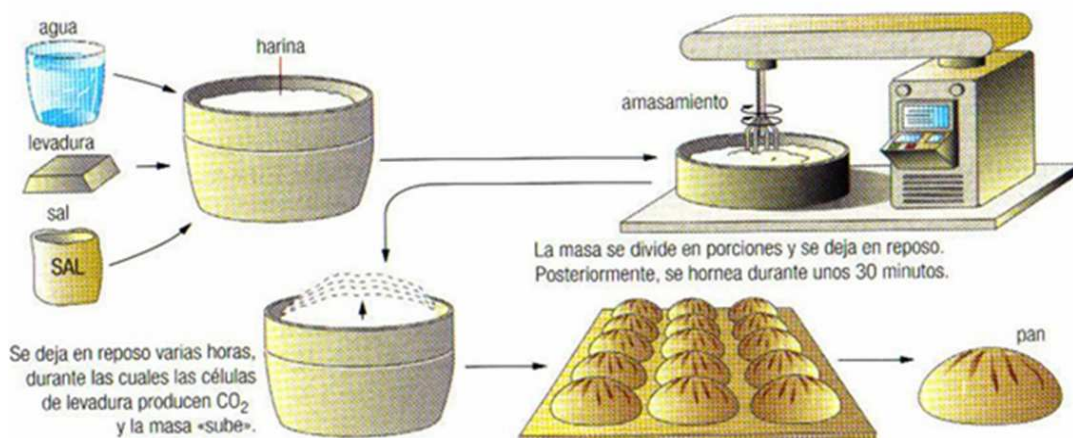


Figura 2.33 Proceso de Elaboración del Pan.

### 2.11.3 LECHERIAS.

- **PRODUCTOS LACTEOS.**

Para la elaboración de leche condensada y leche en polvo se necesita una leche poco tratada por calor, ya que afecta a las proteínas del suero de la leche.

- **MATEQUILLA.**

La mantequilla se elabora a partir de **nata desaireada y pasteurizada.**

Se utilizan cultivos del **ácido láctico para dar aroma**, mayor rendimiento y un menor riesgo de deterioro.

El proceso de fabricación de la mantequilla es un **proceso continuo.**

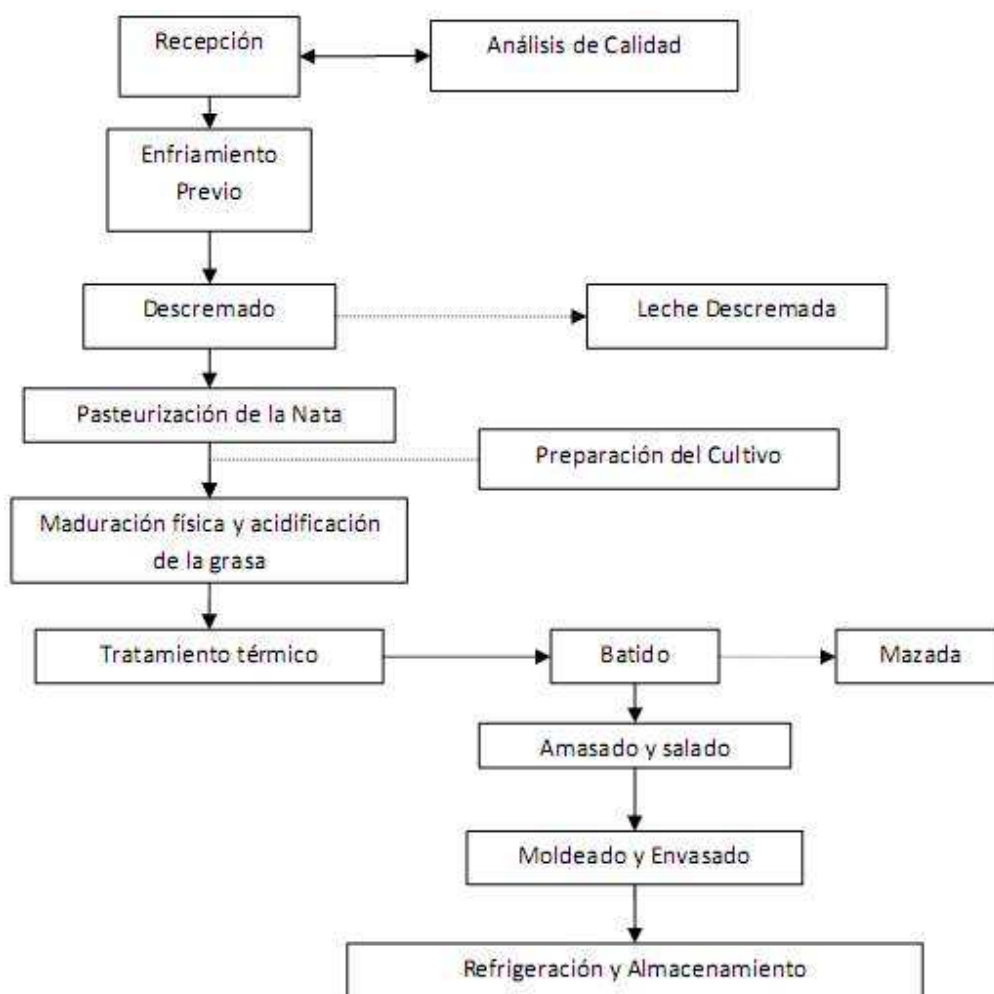


Figura 2.34 Diagrama de Bloques de la Elaboración de la Mantequilla.



- **QUESO.**

Para la elaboración del queso, **la leche se coagula con cuajo**. Después de la coagulación de la leche se elimina el suero.

En el proceso de elaboración del queso se utilizan **sensores para medir la rigidez** de la cuajada, o un viscosímetro. Gracias a los viscosímetros obtenemos una calidad más uniforme, un mejor rendimiento y una reducción de los tiempos muertos durante el proceso de fabricación.

En la elaboración de queso se produce una elevada cantidad de lactosuero, por lo que muchas industrias de queso lo procesan para obtener polvo de suero de leche y crema de suero.

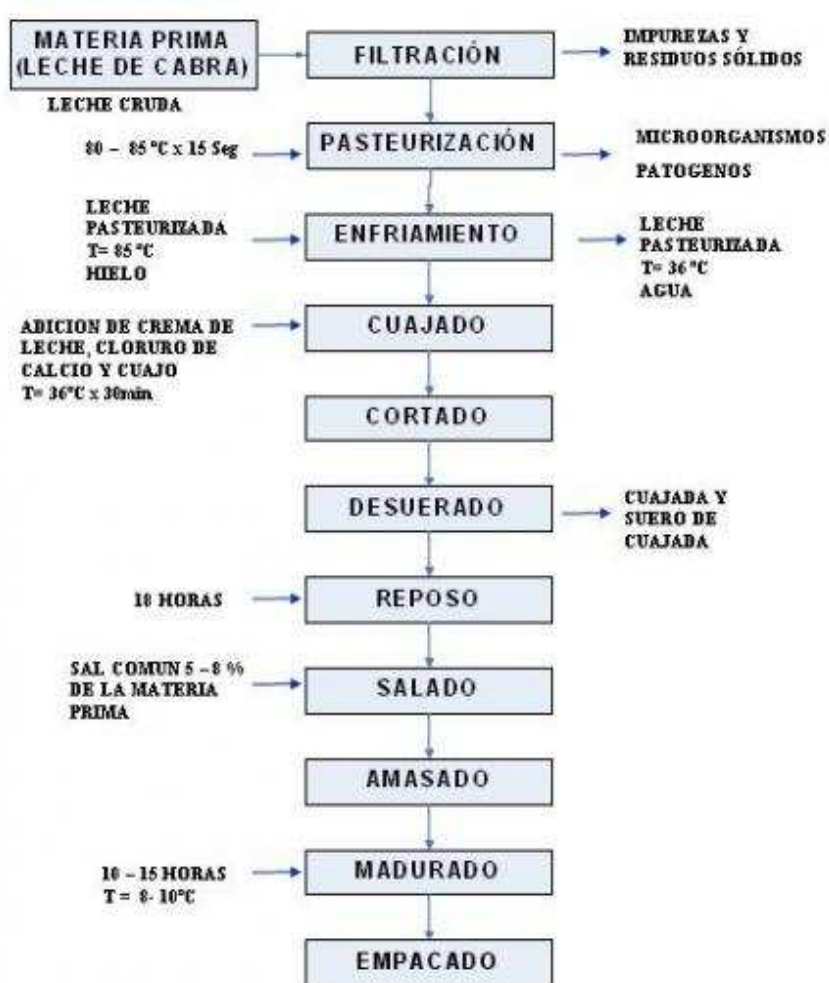


Figura 2.35 Diagrama de Elaboración del Queso de Cabra.

- **PRODUCTOS CON INGREDIENTES DERIVADOS DE LA LECHE.**

Algunos de los productos derivados de la leche son: la crema de helado y los yogures. Para la fabricación de yogur, **la leche debe ser homogeneizada y pasteurizada**. Los aromatizantes o saborizantes se pueden añadir mediante una bomba dosificadora antes de introducir el producto en el recipiente usado para su consumo. La **fabricación de yogur es un proceso continuo**.

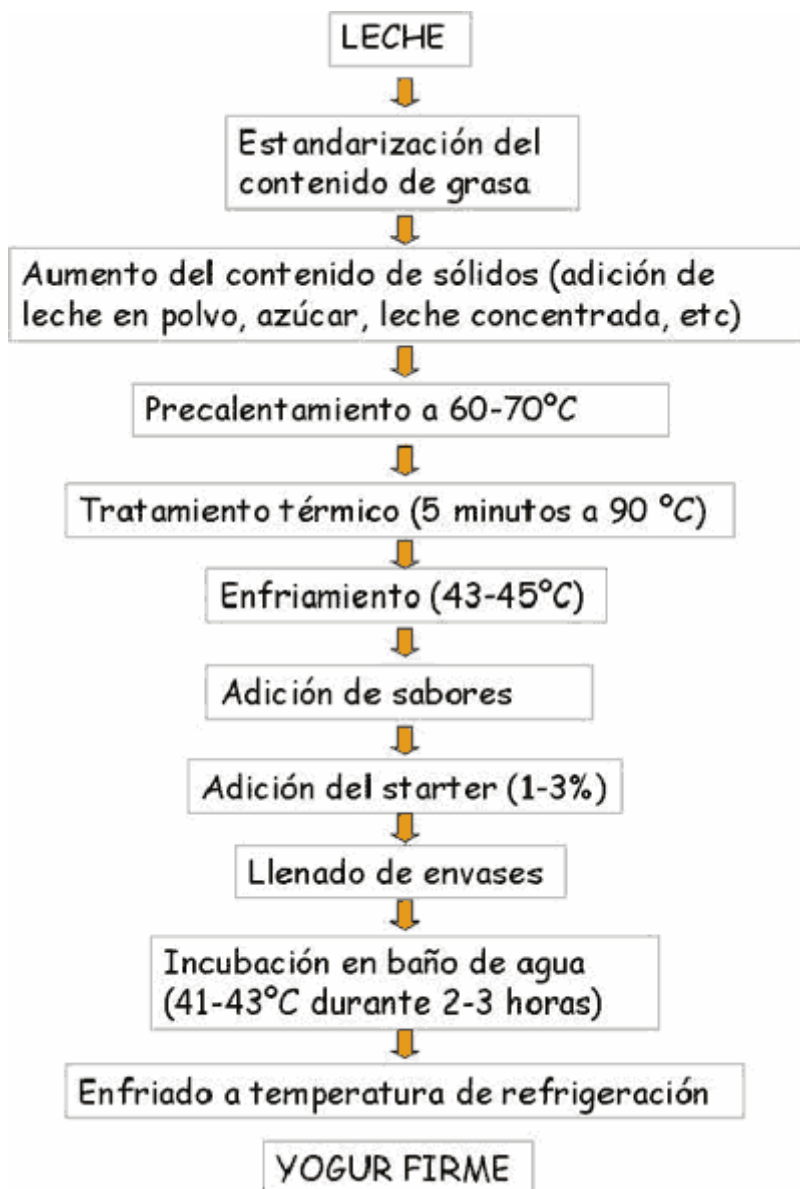


Figura 2.36 Diagrama de Elaboración de Yogur.



## 2.11.4 EL PROCESO TERMICO DE LOS ALIMENTOS PARTICULADOS.

Para el procesado de los alimentos se utilizan tratamientos térmicos como: **el calentamiento con microondas y el tratamiento óhmico.**

- **LETALIDAD.**

La letalidad es un proceso térmico que se aplica a algunos alimentos para la **eliminación de bacterias.** El efecto letal del calor sobre las bacterias depende de la temperatura, la duración del calentamiento y de la cantidad inicial de bacterias.

- **ESCALDADO E INYECCION A VAPOR.**

El escaldado se realiza a temperatura menor de 100°C y en él **se eliminan los gases** de los tejidos y se ablandan.

El objetivo del control del escaldado es **evitar la oxidación.**

La esterilización se realiza a más de 100°C mientras que la pasteurización tiene lugar a una temperatura menos de 100°C.

- **AUTOCLAVES.**

Las autoclaves se utilizan para **completar la esterilización** sin una sobrecocción. Son muy utilizados en el calentamiento de vapor de latas o bolsas.



Figura 2.37 Esterilización con Autoclaves de Alimentos.

- **BOLSAS ESTERILIZABLES EN AUTOCLAVE.**

La desventaja que presenta la utilización de bolsas es que los gases pueden quedar atrapados en su interior y pueden deformar o expandir el envase.

- **TUBOS DE MANTENIMIENTO.**

Los tubos de mantenimiento se utilizan para **mantener el producto suministrado a una alta temperatura.**

- **CALENTAMIENTO OHMICO.**

El calentamiento óhmico es una técnica que **permite calentar los alimentos desde su interior**, de tal modo que no hay superficies calientes al contacto. Para ello se utiliza una corriente eléctrica que pasa a través del alimento, provocando que se eleve la temperatura gracias a la resistencia que ofrece el producto frente al paso de la corriente.

Este método se utiliza por ejemplo en la elaboración de platos precocinados.

- **CALENTAMIENTO POR MICROONDAS Y RADIO-FRECUENCIA.**

El calentamiento por microondas se utiliza **en procesos que no son de gran escala y en procesos de descongelación.**

La combinación de calentamiento por microondas y radio-frecuencia se utiliza para producir un contenido de humedad que sea uniforme tras la etapa de horneado.

## 2.11.5 EL TOSTADO DEL CAFÉ.

El tostado del café consiste en **eliminar toda el agua** que tienen los granos verdes de café. El proceso termina cuando se ha obtenido un aroma determinado.

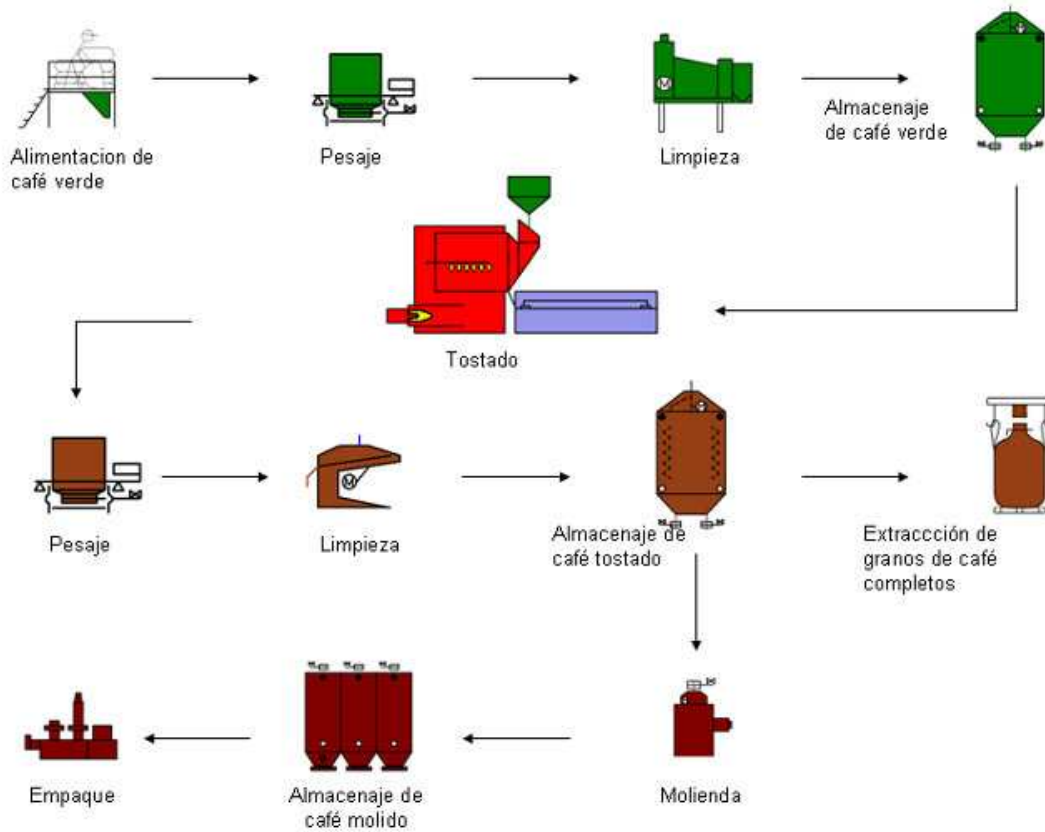


Figura 2.38 Proceso de Elaboración de Café.

## **2.12 PRODUCTOS QUE MANTINEN SU ESTRUCTURA.**

### **2.12.1 CARNES Y PESCADOS.**

La carne y el pescado deben mantener sus propiedades después de todos los procesos a los que son sometidos. Para asegurar que las propiedades se mantienen, se realiza un **análisis de los riesgos** en cuanto a productos e ingredientes, después se **detectan los puntos críticos** y se aplica sobre ellos un **procedimiento de monitorización** para controlarlos mejor.

- **COCCION DE LA CARNE.**

Para la cocción de la carne se pueden utilizar cuatro tipos de hornos: **los hornos de conducción, los de baja temperatura de cocción, los de marmita de convección y los hornos de baja cocción y humedad controlada.** En los hornos de baja cocción y humedad controlada se producen menores pérdidas de cocción. La carne preparada en horno de convección presenta menor resistencia al corte.

- **CURADO DE LA CARNE.**

El proceso de curado de la carne se puede realizar **con nitritos**. Los nitritos dan lugar al pigmento de la carne cocida, previenen la oxidación de lípidos y reducen el crecimiento de microbios. Pero tiene el inconveniente de que **puede formar nitrosaminas** que son sustancia que puede ser cancerígena.

- **IRRADIACION DE LA CARNE.**

En la radiación de la carne se utilizan ionizantes letales para los organismos vivos. Se utilizan dos fuentes para la radiación: **los radioisótopos que producen rayos gamma y los aceleradores de electrones que producen rayos-X.**

Con la irradiación se produce poco calor en el material sobre el que incide.

## 2.12.2 FRUTAS Y HORTALIZAS.

- **MECANIZACION DE LA RECOLECCION.**

La recolección, dependiendo del producto, se puede llevar a cabo utilizando distintas técnicas. Por ejemplo los producto que van en racimos (zarzamoras, uvas, grosellas y frambuesas) se recolectan con **cosechadoras**, y la manzanas se recogen mediante un sistema de **sacudida del árbol**.

Una vez recolectada la fruta es necesario mantener una temperatura baja durante el transporte.

- **ALMACENAMIENTO.**

A la hora de proceder al almacenamiento de la fruta hay que tener en cuenta la **temperatura del lugar** donde se va a almacenar. Para determinar la temperatura óptima de almacenamiento de los alimentos se realiza un estudio de la humedad relativa del lugar de almacenamiento. **La humedad relativa** del lugar del almacenamiento debe ser **alta** con el objetivo de prevenir las pérdidas de humedad en el producto almacenado.

- **PROCESADO.**

El proceso de maduración de la fruta también es importante por lo que se debe de **controlar el grado de maduración**. El etileno puede detener o ralentizar el proceso de maduración productos como las manzanas, los melones, los plátanos y otras frutas y hortalizas.

- **LIOFILIZACION.**

La liofilización es un **proceso de congelación de los alimentos**, donde el control de la temperatura y el contenido de humedad son muy importantes.

El proceso de liofilización consta de **cuatro fases**. La primera fase es la **congelación previa a baja temperatura**. La segunda es el **secado primario por sublimación de los cristales de hielo**. La tercera etapa es el **secado secundario por deserción de la humedad residual**. Y la última etapa de las cuatro es el **almacenamiento y la rehidratación**.

La liofilización se utiliza para la preparación de productos deshidratados estables que pueden ser almacenados a temperatura ambiente.

- **IRRADIACION DE CEREALES Y HORTALIZAS.**

La irradiación se utiliza para **inhibir la brotación, retardar la maduración y desinsectar cereales y hortalizas**. La radiación utilizada para realizar la irradiación es baja.

El proceso de irradiación tiene las ventajas de que: evita el uso de tratamientos químicos, puede aplicarse a toda clase de alimentos, reduce las epidemias ya que aumenta los aspectos sanitarios. Pero también tiene las desventajas de que: disminuye la cantidad de algunas vitaminas de los alimentos y no destruye las toxinas de origen bacteriológico

### **2.12.3 EL ENVASADO EN ATMOSFERAS MODIFICADAS.**

Los sistemas de envasado en atmósfera modificada para un determinado producto implica la especificación de la atmósfera, la selección de la película con las adecuadas propiedades de permeabilidad y poder elegir el envase adecuado.

Para conservar la carne se necesitan cambios en los niveles de oxígeno y anhídrido carbónico.

### **2.12.4 DULCES Y HELADOS.**

A la hora de realizar un proceso con dulces y helados hay que distinguir entre los procesos que manejan azúcar principalmente y los que manejan chocolate.

- **ELABORACION DE DULCES.**

Los dulces del tipo duro se elaboran a partir de **soluciones sobresaturadas de sacarosa** que procede de jarabes de maíz.

- **ELABORACION DE CHOCOLATE.**

Las barras de chocolate se obtienen por extrusión. Para la elaboración del chocolate es necesario atemperar el chocolate para conseguir la temperatura adecuada de cristalización, dependiendo de si el chocolate es en barras o de recubrimiento. La etapa de enfriamiento del recubrimiento con chocolate es muy importante, para conseguir la calidad deseada del producto.

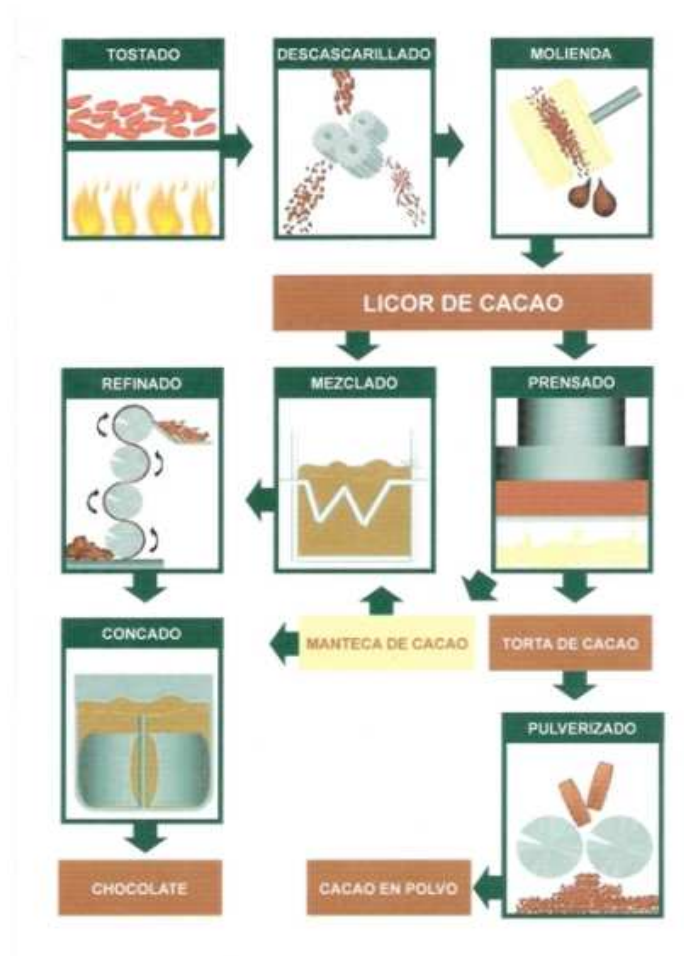


Figura 2.39 Proceso de Elaboración del Chocolate.

### 2.12.5 EL ENCAPSULADO.

Con la encapsulación conseguimos **contener líquidos en cápsulas** o separar componentes.

Los procesos de encapsulación utilizados con mayor frecuencia son: **la atomización, la encapsulación / extrusión, el enfriamiento spray, la extrusión centrífuga, la inclusión y la coacervación** (formación de una capa de polímetro sobre gota de líquido).

## 2.12.6 EL ENVASADO.

- **EMBOTELLADO.**

En las líneas de embotellado es importante **controlar la velocidad**, sobre todo en las curvas y en pendientes descendientes.

La velocidad de llenado depende del diámetro del tubo, la viscosidad y la presión.



Figura 2.40 Planta de Embotellado de Agua.

- **ENVASES ASEPTICOS.**

El envasado aséptico consiste en **sistemas de llenado en condiciones estériles y en equipos herméticos**, dotados de mecanismos de esterilización del empaque antes del llenado.

Se utilizan para la leche esterilizada o para zumos de alta acidez.

- **CONTROLES DE VOLUMEN Y DE PESO.**

Los controles de volumen y peso suelen estar localizados **al final de la primera etapa de envoltura**. El control de peso se utiliza en procesos en los que el envase es una caja que contiene el fluido, bolsas o paquetes. El control de volumen se realiza si el envase es una botella o una lata.



## **2.13 CONTROL INTEGRADO EN PLANTA.**

### **2.13.1 EL CABLEADO DE CAMPO.**

En el cableado de campo se tiene un panel de **control para cada operación**. El control distribuido permite el control manual de parte de la planta. Los paneles de control suministran a los encargados de mantenimiento la posibilidad de usarse sin interrumpir otras operaciones. Las platas automatizadas tienen equipos que se controlan remotamente.

### **2.13.2 LA TRANSMISION DE DATOS Y LOS COMPUTADORES SUPERVISORES.**

- **COMPUTADORES.**

Los computadores son utilizados para: coordinar las órdenes de venta con los niveles de almacenamiento, coordinar los tiempos de producción, comprobar los planes de producción, comprobar la velocidad de la planta, comprobar los costes, comprobar los tiempos de parada de la producción y comprobar los informes de producción.

Las tareas de alta prioridad se pueden ejecutar en tiempo real, interrumpiendo las de baja prioridad.

El sistema se elige en función de la velocidad de computación, el manejo de interrupciones y la velocidad de entrada y salida de datos de planta.

### **2.13.3 TENDENCIAS EN SOFTWARE.**

- **CONCEPTO DE CONTROL AVANZADO.**

El control avanzado se utiliza para **aumentar los beneficios** durante tiempos de operación continua.

- **FIABILIDAD DEL SOFTWARE.**

Algunas consecuencias que tiene el fallo del software son: el retraso en la fabricación, un incremento de los gastos y una caída de las prestaciones.

Para analizar los defectos que se producen durante la etapa de fabricación se utilizan los siguientes métodos: la especificación, el diseño, el código, la documentación, el operador y el soporte que está formado por las herramientas de prueba y desarrollo.

## **2.13.4 RECOMENDACIONES PARA PROYECTOS FUTUROS.**

- **SOPORTE DE INGENIERIA.**

Algunas de las tareas relacionadas con el control y mantenimiento de los instrumentos son: la detección de fallos, la carga de programas, el cambio de los diagramas de registro, el ajuste del lazo, el calibrado, la comprobación de las secuencias lógicas, el listado de fallos y el servicio de suministradores.

Los costes de los ciclos de vida se dividen en: hardware y software de los sistemas de control, mantenimiento de los sistemas de control, repuesto y contratos de servicios, la formación tanto interna como externa y los costes de trabajo de ingeniería.

- **ORGANIZACIÓN DE OPERACIONES.**

Un centro de organización de operaciones debe tener una prestación en tiempo real de los datos de planta, un entorno de trabajo para planificación, dirección y análisis, y unas instalaciones para poder soportar la ingeniería.

## 2.14 LOS ELEMENTOS FINALES DE CONTROL.

Los elementos finales de control son aquellos dispositivos que **se colocan al final de los procesos y sirven para convertir en acciones**, que operan sobre el proceso para corregir las desviaciones obtenidas durante el proceso, **los comandos de control**.

Estos elementos suelen ser **válvulas de control o actuadores**. Las **válvulas** de control consisten en un **orificio de restricción variable** y su **funcionamiento consiste en modificar el caudal** de un fluido durante un proceso. Las válvulas pueden ser *autorreguladoras* (la señal de cierre o apertura de la válvula es generada por ella misma) o bien *la señal de cierre y apertura es generada por un elemento externo*, normalmente un controlador. Los **actuadores** son aquellos dispositivos que **actúan sobre otros elementos de control** para producir en ellos su accionamiento. Los actuadores **pueden ser neumáticos, hidráulicos, eléctricos o motorizados**.

### 2.14.1 TIPOS DE VALVULAS.

- **VALVULAS DE GLOBO.**

Las válvulas de globo pueden ser de **simple asiento, de doble asiento o de obturador equilibrado**. Las de simple asiento necesitan un actuador para su cierre, por lo tanto se utilizan cuando la presión es baja y se necesita que las pérdidas en posición de cierre sean mínimas. Las válvulas de doble asiento y la de obturador equilibrado se emplean cuando se trabaja a alta presión. En éstas válvulas las pérdidas en la posición de cierre son mayores que en las válvulas de simple asiento.

Las válvulas de globo proporcionan un estrangulamiento eficiente, tienen una corta carrera del disco, permiten un control preciso de la circulación y disponen de orificios múltiples. Por otro lado tienen las desventajas de que proporciona una gran caída en la presión y un elevado costo.

A la hora de su selección hay que tener en cuenta parámetros como el tipo de conexión, el tipo de disco, de asiento o de vástago, así como la capacidad nominal de presión y de temperatura.

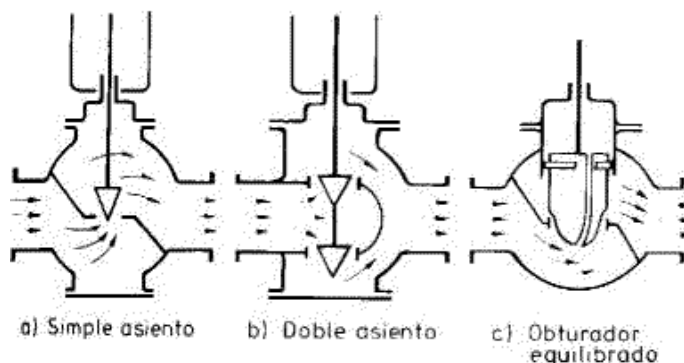


Figura 2.41 Válvulas de Globo.

- **VALVULAS EN ANGULO.**

Estas válvulas permiten tener un **caudal sin muchas turbulencias**. El diseño de la válvula es idóneo para el **control de fluidos que vaporizan**, para trabajar con grandes presiones diferenciales y para los fluidos que contienen sólidos en suspensión.

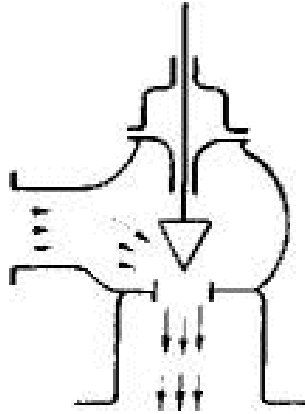


Figura 2.42 Válvula en Angulo.

- **VALVULAS DE COMPUERTA.**

Estas válvulas llevan a cabo **su cierre con un disco**, vertical plano o en forma de espiral, que se mueve verticalmente al flujo del fluido. Se pueden utilizar en aceites, gases, aire, líquidos espesos, líquidos corrosivos, líquidos y gases no condensables.

Las válvulas de compuerta presentan una alta capacidad, un cierre hermético, poca resistencia a la circulación, tiene un bajo costo y un diseño sencillo. Pero también presentan algunos inconvenientes, como por ejemplo que se requiera de gran fuerza para su accionamiento, deben estar cubiertas o cerradas por completo y se produce erosión en el asiento y en el disco.

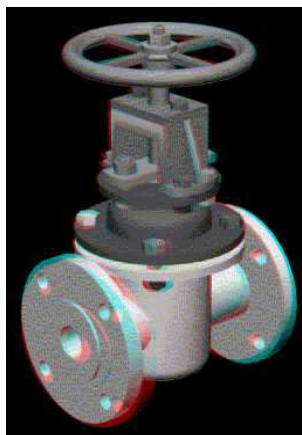


Figura 2.43 Válvula de Compuerta.

- **VALVULA DE JAULA.**

Consisten en un **obturador cilíndrico que se desliza en una jaula**. Se caracterizan por que el desmontaje del obturador es muy fácil y porque el obturador puede tener orificios que permitan eliminar el desequilibrio de fuerza producido por la presión. Se utilizan cuando se trabaja a altas presiones. Son muy resistentes a las vibraciones y al desgaste.

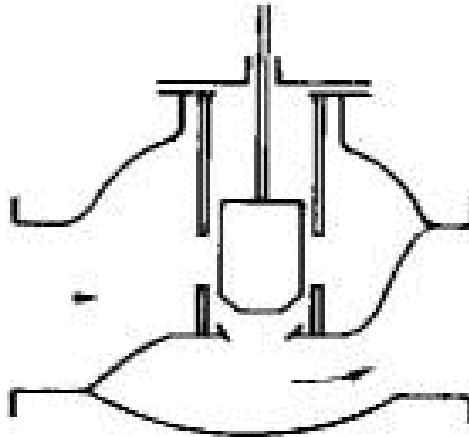


Figura 2.44 Válvula de Jaula.

- **VALVULAS EN Y.**

Estas válvulas se utilizan como **válvulas de cierre y de control**. Se caracterizan por su baja pérdida de carga, por presentar una gran capacidad de caudal y por su auto drenaje.



Figura 2.45 Válvula en Y.

- **VALVULAS DE CUERPO PARTIDO.**

Estas válvulas son una **modificación de las válvulas de globo de simple asiento**. Tienen el cuerpo partido en dos partes, entre las cuales está el asiento. Se utilizan para fluidos viscosos y en la industria alimentaria.

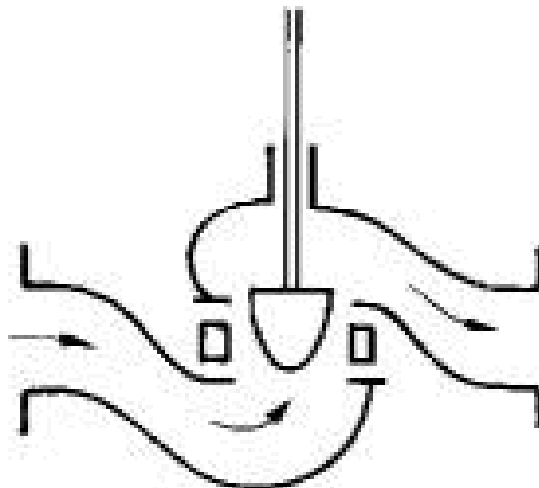


Figura 2.46 Válvula de Cuerpo Partido.

- **VALVULAS SAUNDERS.**

En las válvulas Saunders el **obturador es una membrana flexible** que es forzada contra un resalte del cuerpo impidiendo así el paso de fluido.

Se caracterizan porque su cuerpo se puede revestir de goma para trabajar con fluidos agresivos. Su principal desventaja es que el servomotor de accionamiento debe ser muy potente. Son utilizadas en procesos químicos y en el control de fluidos con sólidos en suspensión.

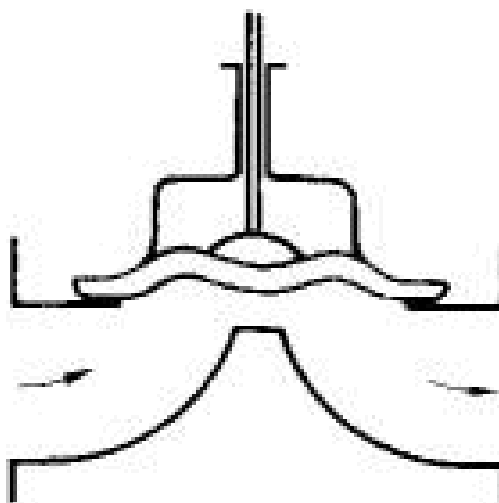


Figura 2.47 Válvula Saunders.

- **VÁLVULAS DE OBTURADOR EXCÉNTRICO ROTATIVO.**

Están formadas por un **obturador de superficie esférica** que tiene un movimiento excéntrico rotativo, y está unido al eje de giro por uno o dos brazos flexibles. El eje de giro es accionado por un vástago que está conectado a un servomotor. Tienen una gran capacidad de caudal y una elevada pérdida de carga admisible.

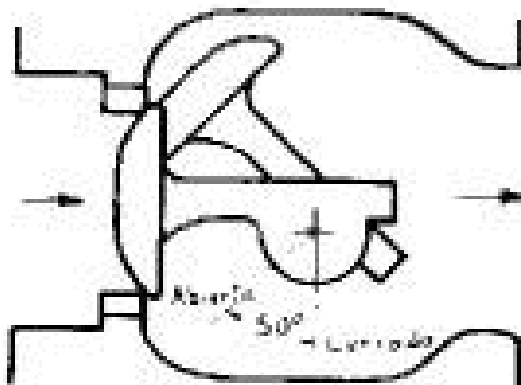


Figura 2.48 Válvula de Obturador Excéntrico Rotativo.

- **VALVULAS DE MARIPOSA.**

El cuerpo de estas válvulas está formado por un **anillo cilíndrico** dentro del cual gira un disco circular. La válvula puede **cerrar herméticamente** gracias a un anillo de goma empotrado en el cuerpo. El eje del disco es accionado por un servomotor exterior.

Se emplean para el control de grandes caudales de fluidos que se hallan a baja presión. Son pequeñas, de bajo coste y pesan poco. Necesitan poco mantenimiento, no utiliza bolas ni tiene cavidades, tienen una alta capacidad y son autolimpiables. Para su accionamiento se necesita una gran torsión.



Figura 2.49 Válvula de Mariposa.

- **VALVULAS DE BOLA.**

Las válvulas de bolas tienen en el cuerpo una **cavidad interna esférica** donde se encuentra un **obturador en forma de esfera o de bola**. El cierre hermético de estas válvulas se obtiene mediante un aro incorporado en el cuerpo.

Estas válvulas son baratas, tienen una alta capacidad, producen pocas fugas, son autolimpiables, necesitan poco mantenimiento, tienen un tamaño compacto y un cierre hermético. Por otro lado tienen los inconvenientes de que necesita una alta torsión para accionarse y los sellos se desgastan fácilmente.

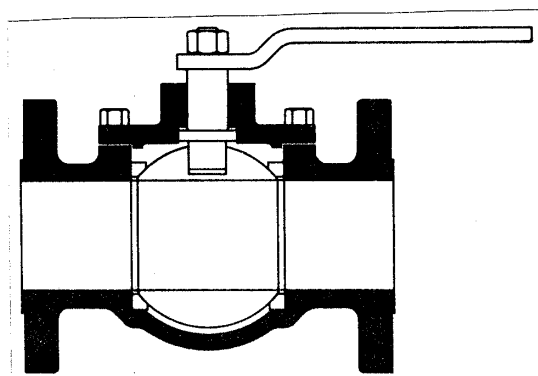


Figura 2.50 Válvula de Bola.

- **VALVULAS DE ORIFICIO AJUSTABLE.**

En las válvulas de orificio ajustable el **obturador es una camisa en forma cilíndrica que tiene dos orificios**, uno a la entrada y otro a la salida. La camisa gira mediante una palanca exterior que puede accionarse manualmente o gracias a un servomotor.

Estas válvulas se utilizan cuando el caudal se deba ajustar manualmente, cuando el caudal puede variar entre unos límites amplios o cuando no se necesita un cierre hermético.

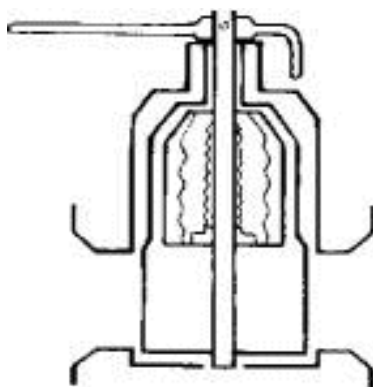


Figura 2.51 Válvula de Orificio Ajustable.



- **VALVULAS DE FLUJO AXIAL.**

Consisten en un **diafragma accionado neumáticamente** que mueve el pistón. Dicho pistón comprime el fluido contra un obturador, así el obturador se expande para cerrar el flujo.

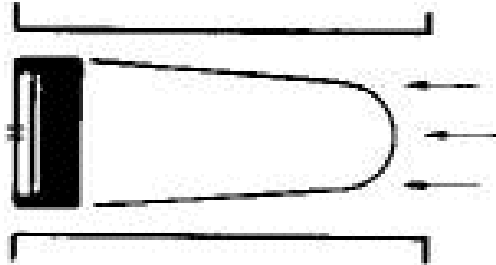


Figura 2.52 Válvula de Flujo Axial.

- **VALVULAS DE DESAHOGO.**

Las válvulas de desahogo son de acción automática y sirven para **regular la presión**. Tienen la ventaja de que se abren rápidamente.

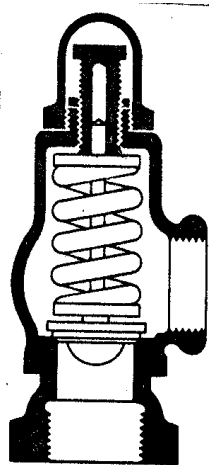


Figura 2.53 Válvula de Desahogo.

## 2.14.2 TIPOS DE ACTUADORES.

- **ACTUADORES NEUMÁTICOS.**

Estos actuadores funcionan gracias a la combinación de fuerzas producidas por aire a presión y resortes. Los actuadores colocan la válvula de control gracias al movimiento que le trasmite mediante un vástago.

Tienen **dos cámaras** que están **separadas por un diafragma**. La **cámara superior recibe el aire**, mientras que la **inferior contiene un resorte** que obliga al diafragma a moverse contra el tope de la cámara superior. La posición de la válvula se señala mediante un indicador que se coloca en el vástago.

La válvula se abrirá cuando disminuya la presión de aire; y si el suministro de aire es constante, la posición de la válvula permanecerá constante.

Los actuadores neumáticos se utilizan para **controlar procesos que exigen una respuesta rápida y precisa** y que no necesiten grandes fuerzas de actuación.

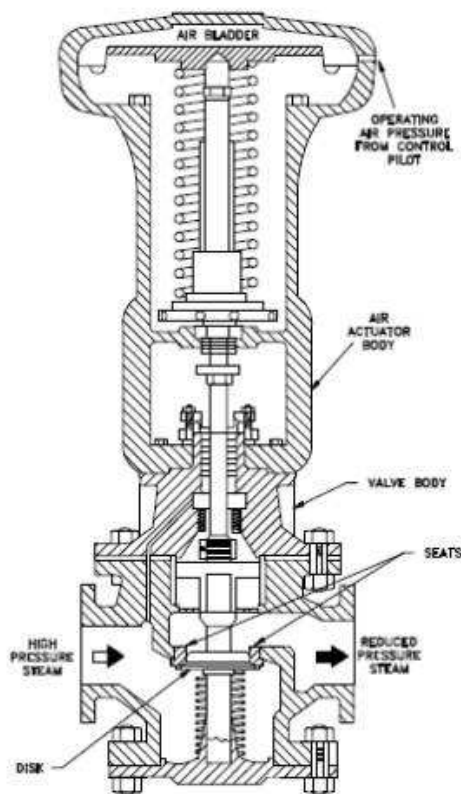


Figura 2.54 Actuador Neumático.

- **ACTUADORES HIDRÁULICOS.**

Los actuadores hidráulicos **se utilizan cuando se requieren grandes fuerzas para accionar la válvula.**

Un actuador hidráulico está formado por **un cilindro, un pistón, un resorte, un vástago y un suministro hidráulico.** El pistón se desplaza verticalmente en el interior del cilindro y lo divide en dos cámaras. La superior contiene un resorte y la inferior aceite hidráulico.

El movimiento del pistón se transmite a la válvula mediante el vástago. La válvula se puede posicionar en el punto totalmente abierto, totalmente cerrado o un punto intermedio, regulando la entrada de aceite.

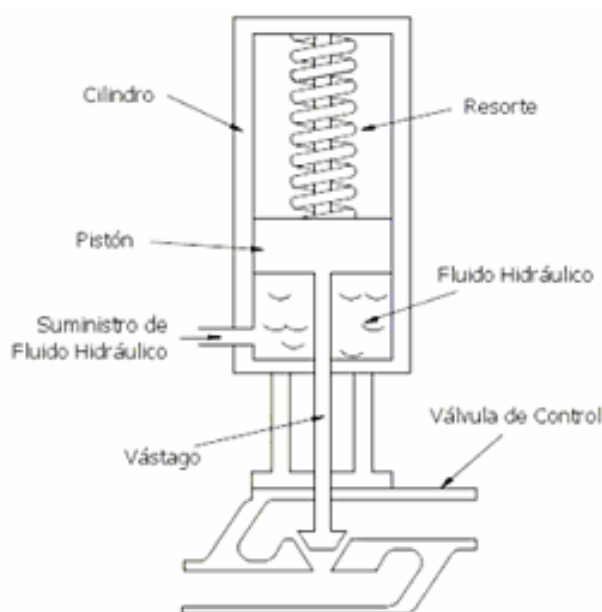


Figura 2.55 Actuador Hidráulico.

- **ACTUADORES ELÉCTRICOS DE SOLENOIDE.**

Los actuadores eléctricos de solenoide están **formados por una bobina, una armadura, un resorte y un vástago.** La bobina se conecta a una fuente externa de electricidad. El resorte fuerza la armadura hacia abajo y ésta se mueve verticalmente dentro de la bobina y transmitiendo su movimiento a la válvula a través del vástago.

Al circular corriente por la bobina se genera un campo magnético que atrae la armadura hacia el centro de la bobina. Cuando la armadura se mueve hacia arriba, el resorte se comprime procediéndose a la apertura de la válvula.

Estos actuadores se caracterizan por ser de rápida operación, por montarse fácilmente. Pero tienen dos desventajas, la primera es que **solo tienen dos posiciones**: totalmente abierto o totalmente cerrado, y la segunda es que no producen mucha fuerza.

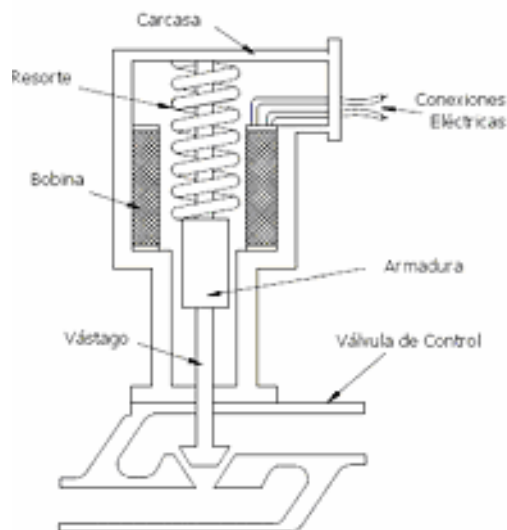


Figura 2.56 Actuador de Solenoide.

- **ACTUADORES MOTORIZADOS.**

Algunos de los actuadores motorizados están diseñados para trabajar sólo en dos posiciones (abierto o cerrado), otros permiten posicionamientos entre los puntos extremos.

Estos actuadores están **formados por un motor eléctrico, un dispositivo de acoplamiento, una caja de engranajes, un volante de accionamiento y un vástago.**

El vástago es movido a través de la caja de engranajes gracias al movimiento del motor. El motor invierte su sentido de giro para abrir o cerrar la válvula. La válvula también se puede manejar manualmente gracias a un dispositivo que desconecta el motor de la caja de engranajes.

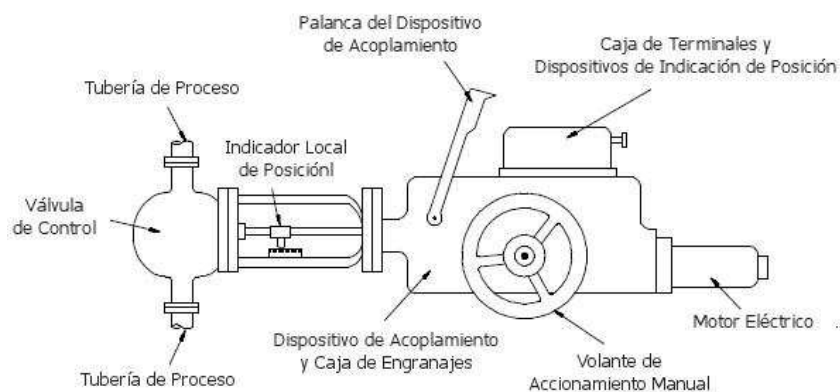


Figura 2.57 Actuador Motorizado.

## 2.15 BIBLIOGRAFIA Y PAGINAS WEBS.

Para la realización de esta primera parte dedicada a los Sistemas de Control he consultado distintas páginas Webs y libros.

Las páginas Webs utilizadas han sido:

- [www.ap-grupo.com/espanol-farma.htm](http://www.ap-grupo.com/espanol-farma.htm)
- [www.directindustry.es/fabricante-industrial/sensores-de-temperatura-sin-contacto-infrarrojos-817/sensor-temperatura-60796.html](http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/sensores-de-temperatura-sin-contacto-infrarrojos-817/sensor-temperatura-60796.html)
- [www.mitecnologico.com/Main/SensoresDeTemperatura](http://www.mitecnologico.com/Main/SensoresDeTemperatura)
- [www.profesormolina.com.ar/tecnologia/sens\\_transduct/index.htm](http://www.profesormolina.com.ar/tecnologia/sens_transduct/index.htm)
- [www.idm-instrumentos.es/Sensores/presion.htm](http://www.idm-instrumentos.es/Sensores/presion.htm)
- [www.industriaynegocios.com](http://www.industriaynegocios.com)
- [www.monografias.com/trabajos6/sicox/sicox.shtml](http://www.monografias.com/trabajos6/sicox/sicox.shtml)
- [www.lukor.com/ordenadores/05062902.htm](http://www.lukor.com/ordenadores/05062902.htm)
- [www.monografias.com/trabajos15/sistemas-control/sistemas-control.shtml](http://www.monografias.com/trabajos15/sistemas-control/sistemas-control.shtml)
- [www.librosvivos.net/smtc/homeTC.asp?TemaClave=1164](http://www.librosvivos.net/smtc/homeTC.asp?TemaClave=1164)
- [es.wikipedia.org/wiki/Sensor](http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor)
- [www.mecanova.es/](http://www.mecanova.es/)
- [www.ametrade.com/sp/controls/applications/food\\_beverages.shtml](http://www.ametrade.com/sp/controls/applications/food_beverages.shtml)
- [www.indemajfj.com](http://www.indemajfj.com)
- [www.geape.es](http://www.geape.es)
- [www.improlac.com](http://www.improlac.com)
- [www.agroterra.com](http://www.agroterra.com)
- [www.fisicanet.com](http://www.fisicanet.com)
- [www.electriauto.com](http://www.electriauto.com)
- [www.mundoelectronics.blogspot.com](http://www.mundoelectronics.blogspot.com)
- [www.fermentacionetanolica.wikispaces.com](http://www.fermentacionetanolica.wikispaces.com)
- [www.engormix.com](http://www.engormix.com)
- [www.ramonmedina.name/uba.htm](http://www.ramonmedina.name/uba.htm)
- [www.fing.edu.uy/iimpi/.../080306-Sensores-parte\\_IV.nivel.pdf](http://www.fing.edu.uy/iimpi/.../080306-Sensores-parte_IV.nivel.pdf)
- [www.fing.edu.uy/.../080306-Sensores-parte\\_II.temperatura.pdf](http://www.fing.edu.uy/.../080306-Sensores-parte_II.temperatura.pdf)
- [www.fing.edu.uy/iimpi/.../080306-Sensores-parte\\_I.caudal.pdf](http://www.fing.edu.uy/iimpi/.../080306-Sensores-parte_I.caudal.pdf)
- [www.fing.edu.uy/iimpi/.../080306-Sensores-parte\\_III.presion.pdf](http://www.fing.edu.uy/iimpi/.../080306-Sensores-parte_III.presion.pdf)

Y los libros consultados han sido:

“La Automatización de la fabricación de Alimentos y Bebidas”

Ian McFarlane. A. Madrid Vicente Ediciones.

“Ingeniería de Control”

W. Bolton. Marcombron, Boixareu editores.

### **3. MANUAL DE SENSORES.**

#### **3.1 DEFINICION DE SENSOR.**

Un sensor es un **dispositivo capaz de medir magnitudes físicas o químicas**, llamadas variables de instrumentación, **y transformarlas en variables eléctricas**. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, etc. Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica, una capacidad eléctrica, una tensión eléctrica, una corriente eléctrica, etc.

Un sensor se diferencia de un transductor en que **el sensor está siempre en contacto con la variable de instrumentación** con lo que puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo. Un sensor también puede decirse que es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra.

Los sensores pueden estar conectados a un computador para obtener ventajas como son el acceso a una base de datos, la toma de valores desde el sensor, etc.

Los sensores se pueden dividir en:

- **Pasivos**: los aquellos que **necesitan un aporte de energía externa**.
- **Resistivos**: son los sensores que **transforman la variación de la magnitud a medir en una variación en la resistencia eléctrica**.
- **Capacitivos**: **varían la capacidad de un condensador** gracias a la transformación de la variación de la magnitud a medir.
- **Inductivos**: **transforman la variación de la magnitud a medir en una variación de la inductancia de una bobina**.
- **Activos**: son aquellos que **son capaces de generar su propia energía**. También se les llama sensores **generadores**.

En la siguiente tabla se indican algunos tipos y ejemplos de sensores electrónicos.

<b>Magnitud</b>	<b>Transductor</b>	<b>Característica</b>
Posición lineal o angular	Potenciómetro	Analógica
	Encoder	Digital
Desplazamiento y deformación	Transformador diferencial de variación lineal	Analógica
	Galga extensiométrica	Analógica

	Magnetostrictivos	A/D
	Magnetorresistivos	Analógica
	LVDT	Analógica
Velocidad lineal y angular	Dinamo tacométrica	Analógica
	Encoder	Digital
	Detector inductivo	Digital
	Servo-inclinómetros	A/D
	RVDT	Analógica
	Giróscopo	
Aceleración	Acelerómetro	Analógico
	Servo-accelerómetros	
Fuerza y par (deformación)	Galga extensiométrica	Analógico
	Triaxiales	A/D
Presión	Membranas	Analógica
	Piezoeléctricos	Analógica
	Manómetros Digitales	Digital
Caudal	Turbina	Analógica
	Magnético	Analógica
Temperatura	Termopar	Analógica
	RTD	Analógica
	Termistor NTC	Analógica
	Termistor PTC	Analógica



	Bimetal	I/O
Sensores de presencia	Inductivos	I/O
	Capacitivos	I/O
	Ópticos	I/O y Analógica
Sensores táctiles	Matriz de contactos	I/O
	Piel artificial	Analógica
Visión artificial	Cámaras de video	Procesamiento digital
	Cámaras CCD o CMOS	Procesamiento digital
Sensor de proximidad	Sensor final de carrera	
	Sensor capacitivo	
	Sensor inductivo	
	Sensor fotoeléctrico	
Sensor acústico (presión sonora)	micrófono	
Sensores de acidez	IsFET	
Sensor de luz	fotodiodo	
	Fotorresistencia	
	Fototransistor	
	Célula fotoeléctrica	

Tabla 3.1 Clasificación de los Sensores.

## 3.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES.

Entre las características técnicas de un sensor destacan las siguientes:

- **Rango de medida:** dominio es la magnitud medida en el que puede aplicarse el sensor.
- **Exactitud:** capacidad de un instrumento de medir un valor cercano al valor de magnitud real.
- **Histéresis:** es la **tendencia** de un material a **conservar una de sus propiedades** en ausencia del estímulo que la ha provocado.
- **Campo de medida:** es el **conjunto de valores de la variable medida**, que están comprendidos entre un límite superior y otro inferior.
- **Alcance:** es la **diferencia entre los valores superior e inferior** del campo de medida.
- **Error:** es la **diferencia que existe entre el valor leído** por el instrumento y el **valor que tiene la variable** medida.
- **Precisión:** es el **error de medida máximo** esperado.
- **Offset o desviación de cero:** **valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula**. Si el rango de medida no llega a valores nulos de la variable de entrada, habitualmente se establece otro punto de referencia para definir el offset.
- **Linealidad o correlación lineal.**
- **Sensibilidad de un sensor:** **relación entre la variación** de la magnitud de salida y la variación de la magnitud de entrada.
- **Resolución:** **mínima variación de la magnitud** de entrada que puede apreciarse a la salida.
- **Rapidez de respuesta:** puede ser un tiempo fijo o depender de cuánto varíe la magnitud a medir. Depende de la capacidad del sistema para seguir las variaciones de la magnitud de entrada.
- **Derivas:** son otras magnitudes, aparte de la medida como magnitud de entrada, que influyen en la variable de salida. Por ejemplo, pueden ser condiciones ambientales, como la humedad, la temperatura u otras como el envejecimiento (oxidación, desgaste, etc.) del sensor.
- **Repetitividad:** **error esperado al repetir** varias veces la misma medida.

Un sensor es un tipo de **transductor que transforma la magnitud que se quiere medir o controlar, en otra, que facilita su medida**. Pueden ser de **indicación directa** (un termómetro de mercurio) o pueden **estar conectados a un indicador** (posiblemente a través de un convertidor analógico a digital, un computador y un display) de modo que los valores detectados puedan ser leídos por un humano.

Por lo general, **la señal de salida de estos sensores no es apta para su lectura directa** y a veces tampoco para su procesado, por lo que se usa un circuito de acondicionamiento, como por ejemplo un **punte de Wheatstone**, amplificadores y filtros electrónicos que adaptan la señal a los niveles apropiados para el resto de la circuitería.

### 3.3 RESOLUCION Y PRECISIO DE LOS SENSORES.

**La resolución** de un sensor es el **menor cambio en la magnitud de entrada que se aprecia en la magnitud de salida**. Sin embargo, **la precisión es el máximo error esperado en la medida**.

**La resolución puede ser de menor valor que la precisión**. Por ejemplo, si al medir una distancia la resolución es de 0,01 mm, pero la precisión es de 1 mm, entonces pueden apreciarse variaciones en la distancia medida de 0,01 mm, pero no puede asegurarse que haya un error de medición menor a 1 mm. En la mayoría de los casos este exceso de resolución conlleva a un exceso innecesario en el coste del sistema. No obstante, en estos sistemas, si el error en la medida sigue una distribución normal o similar, lo cual es frecuente en errores accidentales, es decir, no sistemáticos, la repetitividad podría ser de un valor inferior a la precisión.

Sin embargo, **la precisión no puede ser de un valor inferior a la resolución**, pues no puede asegurarse que el error en la medida sea menor a la mínima variación en la magnitud de entrada que puede observarse en la magnitud de salida.

### 3.4 SENSORES DE TEMPERATURA.

Los sensores de temperatura consisten en una  **fina película de resistencia variable con la temperatura (RTD)** y están calibrados por láser para una mayor precisión e intercambiabilidad. Las salidas lineales son estables y rápidas.

Los transductores eléctricos de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y entre los cuales figuran:

- **Variación de resistencia en un conductor** (sondas de resistencia).
- **Variación de resistencia de un semiconductor** (termistores).
- **La fuerza electromotriz es creada en la unión de dos metales distintos** (termopares).
- **Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo** (pirómetros de radiación).
- Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal, etc.).

En la siguiente tabla se muestran las ventajas de los principales sensores térmicos.

	<b>RTD</b>	<b>Termistor</b>	<b>Sensor de IC</b>	<b>Termopar</b>
<b>Ventajas</b>	Más estable. Más preciso. Más lineal que los Termopares.	Alto rendimiento Rápido Medida de dos hilos	El más lineal El de más alto rendimiento Económico	Autoalimentado Robusto Económico Amplia variedad de formas físicas Amplia gama de temperaturas
<b>Desventajas</b>	Caro. Lento. Precisa fuente de alimentación. Pequeño cambio de resistencia. Medida de 4 hilos Autocalentable	No lineal. Rango de Temperaturas limitado. Frágil. Precisa fuente de alimentación. Autocalentable	Limitado a < 250 °C Precisa fuente de alimentación. Lento Autocalentable. Configuraciones limitadas.	No lineal Baja tensión Precisa referencia El menos estable El menos sensible

Tabla 3. 2 Ventajas y Desventajas de los Sensores de Temperatura.

Los metales puros tienen un **coeficiente de resistencia de temperatura positivo** bastante constante. El coeficiente de resistencia de temperatura, generalmente llamado coeficiente de temperatura es la razón de cambio de resistencia al cambio de temperatura. Un coeficiente positivo significa que la resistencia aumenta a medida que aumenta la temperatura. Si el coeficiente es constante, significa que el factor de proporcionalidad entre la resistencia y la temperatura es constante y que la resistencia y la temperatura se graficarán en una línea recta.

Cuando se **usa un alambre de metal puro para la medición de temperatura**, se le refiere como **detector resistivo de temperatura, o RTD**.

Cuando se **usan óxidos metálicos para la medición de temperatura**, el material de óxido metálicos está conformado en forma que se asemejan a pequeños bulbos. El dispositivo formado así se llama **Termistor**. Los termistores tienen coeficientes de temperatura negativos grandes que no son constantes. En otras palabras, el cambio de resistencia por unidad de cambio de temperatura es mucho mayor que para el metal puro, pero el cambio es en la otra dirección: la resistencia disminuye a medida que se aumenta la temperatura. El hecho de que el coeficiente no sea constante significa que el cambio en la resistencia por unidad de cambio de temperatura es diferente a diferentes temperaturas.

La linealidad extrema de los termistores los hace poco apropiados para la medición de temperatura a través de rangos amplios. Sin embargo, para la medición de temperaturas dentro de bandas angostas, están muy bien dotados, pues dan una gran respuesta a un cambio de temperatura pequeño.

Como regla general, los termistores son preferibles cuando la banda de temperaturas esperada es angosta, mientras que los RTD son preferibles cuando la banda de temperatura esperada es amplia.

Después del procesado de la medición se necesita monitorizar la temperatura durante el almacenamiento y la distribución de los alimentos, esto se consigue con indicadores “tiempo-temperatura”. Existen **tres tipos de dichos indicadores**. El primer tipo es un **indicador basado en la difusión**, en el que una mezcla de ésteres de ácidos grasos y ftalatos (compuestos químicos principalmente empleados como plastificadores) se difunden a lo largo de una mecha porosa para proporcionar una indicación visible de la temperatura crítica para los alimentos congelados. El segundo tipo de indicadores se basa **en un cambio de color** provocado por el descenso de pH en la hidrólisis. Y el último tipo de indicadores se basa **en la habilidad de los cristales de diacetileno para polimerizarse**. Este último indicador está activo desde su ensamblado y necesita ser almacenado a baja temperatura hasta su uso.

- **TERMOMETRO DE VIDRIO.**

Estos termómetros tienen un **dispositivo de vidrio en cuyo interior se encuentra un fluido**. El cuerpo se dilata por acción del calor, lo que hace que se expanda a través del tubo capilar graduado y así poder medir la temperatura.

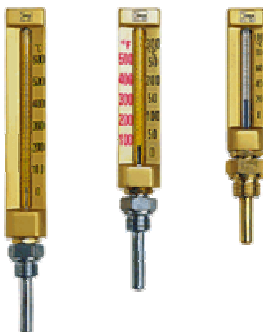


Figura 3.1 Termómetros de Vidrio.

- **TERMOMETRO BIMETALICO.**

Se basa en que **las temperaturas de dilatación de dos metales diferentes (cintas) no es la misma**. El calentamiento provoca que una de las dos cintas se expanda más que la otra, debido a que no poseen el mismo coeficiente de expansión. Como las cintas están soldadas, la cinta se doblará en la dirección del metal que se expanda menos. Posee pocas partes móviles, solo la aguja indicadora y el elemento bimetalico. Este tipo de termómetros proporciona una **respuesta rápida de fácil lectura**, se pueden utilizar en condiciones difíciles ya que su estructura es fuerte y maciza, la medición no se ve afectada por los cambios en el ambiente, se puede utilizar en ambientes corrosivos y de alta presión, son muy precisos.



Figura 3.2 Termómetro Bimetalito.

- **TERMOMETRO DE BULBO Y CAPILAR.**

Consiste en un **bulbo conectado por un capilar a una espiral**. Pueden ser de cuatro clases: **termómetros actuados por líquido, actuado por vapor, actuado por gas o actuado por mercurio**.



Figura 3.3 Termómetro de Bulbo y Capilar.

- **TERMOMETRO DE RESISTENCIA.**

Su principio de funcionamiento **se basa en el flujo de electrones a través de la resistencia**. Al variar la temperatura en el material resistivo, el flujo de electrones varía. Lo que quiere decir que **la resistencia varía con la temperatura**. El elemento consiste en un arrollamiento de hilo muy fino, bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o cerámica. Las bobinas que llevan arrollado el hilo de resistencia están encapsuladas y situadas dentro de una vaina. Algunas de las desventajas que presentan son su alto precio, que **se pueden autocalentar** y la más importante es que al ser tan baja la resistencia de los hilos conductores puede provocar errores importantes.

En la denominada **técnica de dos hilos**, la resistencia se mide en los terminales del sistema de adquisición de datos, por lo que la resistencia de los hilos forma parte de la cantidad desconocida que se pretende medir. Por el contrario, la **técnica de cuatro hilos** mide la resistencia en los terminales del RTD, con lo cual la resistencia de los hilos queda eliminada de la medida. La contrapartida es que se necesita el doble de cables y el doble de canales de adquisición de datos. La técnica de tres hilos ofrece una solución intermedia que elimina un cable, pero no es tan precisa.



Estos termómetros tienen un **comportamiento lineal**, se pueden utilizar para altas temperaturas ya que son **estables a altas temperaturas**, son bastante exactos. Por otro lado podemos decir que son caros, tienen una baja sensibilidad y pueden ser afectados por choques y vibraciones.



Figura 3.4 Termómetros de resistencia.

- **TERMISTORES.**

Los termistores, son **semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo** (o positivo) de valor elevado, por lo que presenta unas variaciones rápidas y grandes para los cambios pequeños de temperatura. Se basan en semiconductores y no en conductores como es el caso de los RTD. La salida de los termistores se conecta a circuitos de puente Wheatstone convencionales. Son de pequeño tamaño y su tiempo de respuesta depende de la capacidad térmica y de la masa del termistor. La corriente que circula por un termistor a través del circuito de medida debe ser baja para garantizar que la variación de resistencia sea debida solamente a los cambios de temperatura del proceso.



Figura 3.5 Termistores.

- **TERMOPARES.**

Los termopares son unos de los sensores más sencillos y de los más utilizados en las industrias para determinar la temperatura de los procesos. Están **formados por la unión de dos metales, la cual es sometida a la temperatura a ser medida.** Los termopares tienen una determinación puntual de la temperatura, tienen una rápida respuesta a la variación de temperatura, no necesitan alimentación, tienen un amplio rango de medida, para bajas temperaturas tienen mayor exactitud, son estables a largo plazo y su fiabilidad es elevada. Por otro lado tienen las desventajas de que su respuesta no es lineal, se debe mantener la unión de referencia a una temperatura constante y conocida, la temperatura máxima que alcanza el termopar debe ser inferior a su temperatura de fusión, el medio donde se va a medir no ataca a los metales de la unión y la corriente por el termopar debe ser muy pequeña.



Figura 3.6 Termopares.

Estudios realizados sobre el comportamiento de termopares han permitido establecer tres leyes fundamentales:

- **Ley del circuito homogéneo.** *En un conductor metálico homogéneo no puede sostenerse la circulación de una corriente eléctrica por la aplicación exclusiva de calor.*

- **Ley de metales intermedios.** *Si en un circuito de varios conductores la temperatura es uniforme desde un punto de soldadura A a otro punto B, la suma algebraica de todas las fuerzas electromotrices es totalmente independiente de los conductores metálicos intermedios y es la misma que si se pusieran en contacto directo A y B.*

- **Ley de las temperaturas sucesivas.** *La f.e.m. generada por un termopar con sus uniones a las temperaturas  $T_1$   $T_3$  es la suma algebraica de la f.e.m. del termopar con sus uniones a  $T_1$   $T_2$  de la f.e.m. del mismo termopar con sus uniones a las temperaturas  $T_2$   $T_3$ .*

A continuación se muestra una tabla con las principales características de los distintos tipos de termopares:

TIPO	RANGO	TOLERANCIA	CARACTERISTICAS
Hierro-Cobre-Níquel. Tipo J	0 a 500°C	3°C (<300°C) 1% (>300°C)	Necesitan protección contra la humedad.
Cobre-Cobre-Níquel. Tipo T	-100 a 400°C	1°C (<100°C) 1%(>100°C)	Recomendado para medidas bajo cero.
Cromel-Alumel Tipo K	0 a 1000°C	3°C (<400°C) 0.75% (>400°C)	No es adecuado para atmósferas reductoras.
Platino-Platino-Rodio Tipo K	0 a 1400°C	1°C (<1100°C) 2°C (>1100°C)	No necesita funda metálica.

Tabla 3.3 Características de los Termistores.

- **TERMOMETROS INFRARROJOS.**

Son **dispositivos de no contacto**, que **miden** indirectamente **la temperatura** de cuerpos calientes **a partir de la radiación térmica emitida** de forma natural por los mismos. También son llamados **pirómetros de radiación**. Se usan en aquellos procesos industriales que manejan temperaturas superiores a las del punto de fusión del transductor. La energía irradiada y su longitud de onda característica dependen de la temperatura de la superficie del objeto.



Figura 3.7 Termómetro de Infrarrojos.

### 3.5 SENSORES DE PRESION.

La presión es la fuerza por unidad de superficie. Existen distintas presiones:

- **Presión absoluta:** representa la **diferencia de presión entre el punto de medición y el vacío**, donde la presión es cero.
- **Presión relativa:** es la **diferencia de presión entre el punto de medida y el ambiente**.
- **Presión diferencial:** es la **diferencia de presión entre dos puntos**, donde uno de ellos se utiliza como referencia.

En un proceso de medición de la presión, **la deformación del elemento sensor produce desplazamientos y tensiones** que pueden ser detectadas con exactitud y así poder medir la presión. Por lo que para medir la presión podríamos decir que se necesita un medio para aislar la presión de dos fluidos (uno que será el que mediremos y el otro que se utiliza como referencia) y una porción elástica que nos permita transformar la diferencia de presión en una deformación en el sensor.

Los sensores de presión sofisticados funcionan a base de celdas de carga y de sus respectivos amplificadores electrónicos, y **se basan** en el conocido **punto de Wheatstone**, donde una de sus piernas está ocupada por el sensor. Este sensor es básicamente una resistencia variable en un sustrato que puede ser deformado, y lo cual ocasiona el cambio en el valor de la mencionada resistencia.

Los sensores comunes de presión son interruptores eléctricos movidos por una membrana o, un tubo Bourdon. El tubo Bourdon se abre hacia afuera con el aumento de presión y este movimiento es transmitido a un interruptor, el cual es accionado cuando la posición del tubo corresponde con un ajuste preseleccionado.

En el caso de los interruptores de presión por diafragma, la fuerza provocada por la presión sensada actúa sobre un resorte, el cual al ser vencido actúa sobre un microinterruptor. Es obvio que el resorte determina el rango de presión de operación.

Se pueden clasificar en **mecánicos, electromecánicos y electrónicos**.

A la hora de seleccionar un transductor de presión hay que tener en cuenta aspectos como: la temperatura de trabajo, la humedad, el tipo de sensor, el tipo de salida, el método de conexión con el proceso y la compatibilidad química con el fluido de trabajo.

### 3.5.1 SENSORES DE PRESION MECANICOS.

- **TUBO BOURDON.**

Es un **tubo de sección elíptica que forma un anillo** casi completo, cerrado por un extremo. Al aumentar la presión en el interior del tubo, éste tiende a enderezarse y el movimiento es transmitido a la aguja indicadora, por medio de un sistema de piñón-cremallera. Se utiliza para medir **altas presiones**.

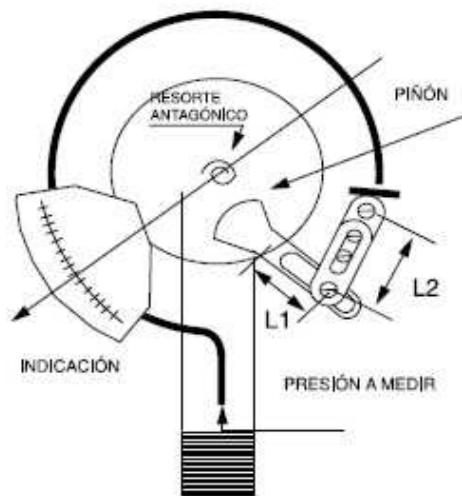


Figura 3.8 Tubo de Bourdon.

- **ELEMENTON EN ESPIRA.**

Se forma arrollando el **tubo de Bourdon en forma de espiral alrededor de un eje común**, y el helicoidal arrollando más de una espira en forma de hélice.

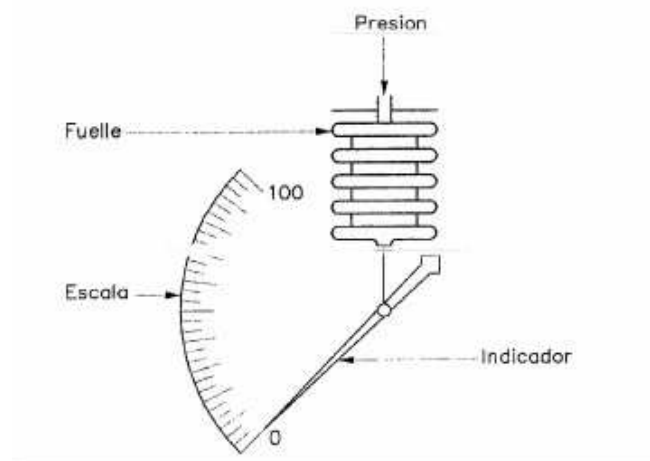


Figura 3.9 Manómetro de Espiral.

- **DIAFRAGMA.**

En los diafragmas al aplicar la presión, el movimiento se aproxima a una relación lineal en un intervalo de medida lo más amplio posible con un mínimo de histéresis. Se utiliza para **pequeñas presiones**.

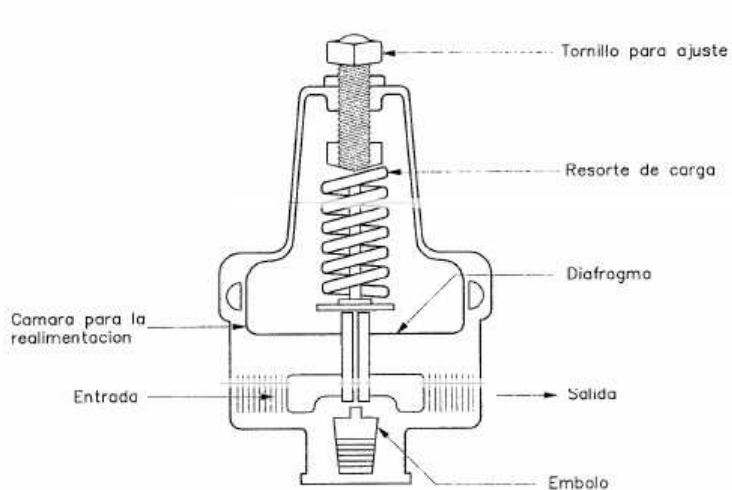


Figura 3.10 Manómetro de Diafragma.

- **DE FUELLE.**

Es parecido al diafragma, pero está **formado por una sola pieza flexible** axialmente, y puede dilatarse o contraerse con un desplazamiento considerable. Se utiliza para **presiones muy pequeñas**. Son **los más exactos**. La presión del sistema se aplica al volumen interno del fuelle, esto hace que se expanda y contraiga con la variación de presión. El movimiento del fuelle se convierte en una señal eléctrica.

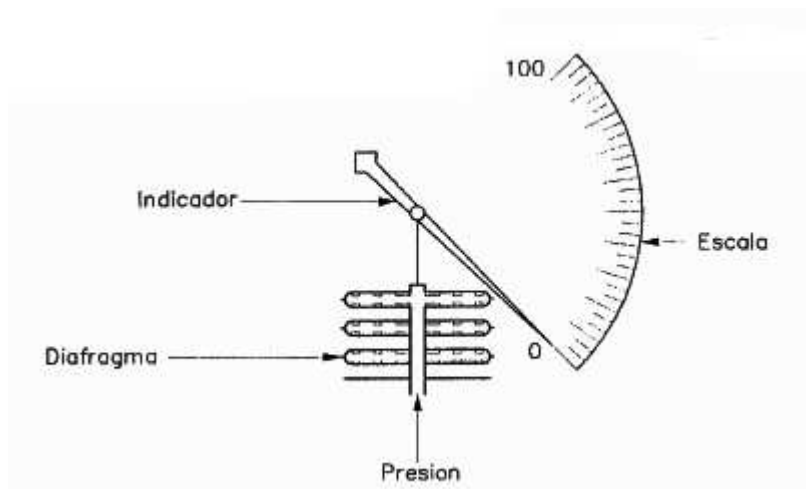


Figura 3.11 Manómetro de Fuelle.

- **MEDIDORES DE PRESION ABSOLUTA.**

Consiste en un **conjunto de fuelle y resorte** opuesto a un fuelle sellado al vacío absoluto. El movimiento resulta de la unión de los dos fuelles equivalentes a la presión absoluta del fluido. Se utiliza para medidas exactas y el control preciso de **bajas presiones**.

### 3.5.2 SENSORES DE PRESION ELECTROMECHANICOS.

- **RESISTIVOS.**

Consiste en un **elemento elástico que varía la resistencia de un potenciómetro en función de la presión**. Los transductores resistivos son simples y su señal de salida es bastante potente como para proporcionar una corriente de salida suficiente para el funcionamiento de los instrumentos de indicación sin necesidad de amplificación. Son sensibles a la vibración. **La señal de salida no es continua.**

- **MAGNETICOS.**

- **De Inducción Variable.**

El desplazamiento de un núcleo móvil dentro de una bobina aumenta la inductancia de dicha bobina de forma casi proporcional a la porción metálica del núcleo contenida dentro de la bobina. Esto hace que la tensión inducida en el bobinado aumente.

No producen rozamientos en la medición, tienen una respuesta lineal.

Son pequeños y de construcción robusta.

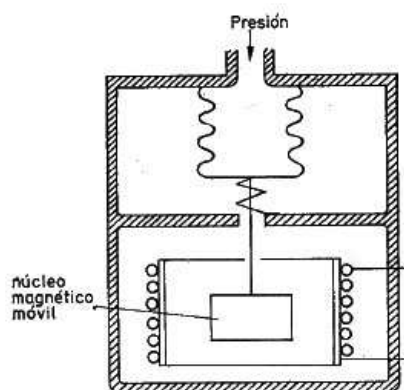


Figura 3.12 Sensor de Presión de Inducción Variable.



**- De Reluctancia Variable.**

Consiste en un **imán o electroimán que crea un campo magnético** dentro del cual se mueve una armadura de material magnético. El circuito magnético se alimenta con una fuerza magnetomotriz constante, con lo cual al cambiar la posición de la armadura varía la reluctancia y por lo tanto el flujo magnético.

Esta variación del flujo da lugar a una corriente inducida en la bobina que es proporcional al grado de desplazamiento de la armadura móvil. Tiene una **alta sensibilidad a las vibraciones y a la temperatura.**

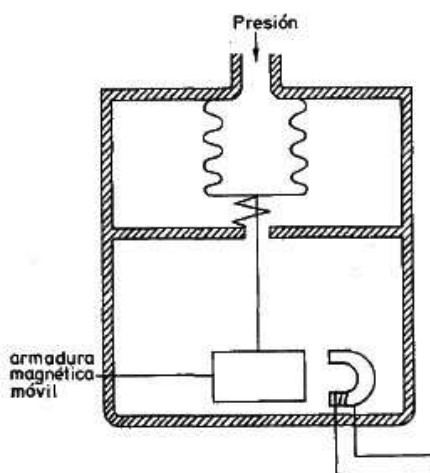


Figura 3.13 Sensor de Presión de Reluctancia Variable.

**- Capacitivo.**

Se basan en la **variación de capacidad que se produce en un condensador al desplazarse una de sus placas por la aplicación de presión.** Consiste en **dos condensadores con uno de capacidad fija y el otro de capacidad variable.** Son de pequeño tamaño. Sirven para medir tanto en condiciones estáticas como dinámicas. La señal de salida es débil, por lo que se **necesita un amplificador a la salida.** Son sensibles a la variación de temperatura.

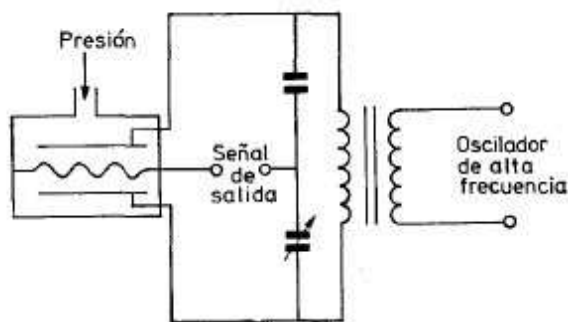


Figura 3.14 Sensor de Presión Capacitivo.

**- Galgas Extensiométricas.**

Consiste en un **alambre muy fino o un papel metálico arreglado en forma de rejilla**. La rejilla se encuentra pegada a un apoyo delgado, el cual se encuentra unido a la superficie del objeto sometido a tensión, fuerza o presión. La tensión experimentada por el objeto es transmitida a la galga, la cual responde con un cambio lineal en su resistencia eléctrica. Pueden ser **cementadas** (formadas por varios bucles de hilo muy fino que están pegados a una hoja base de cerámica, papel o plástico) **o sin cementar** (los hilos de resistencia descansan entre un armamento fijo y otro móvil bajo ligera tensión inicial).

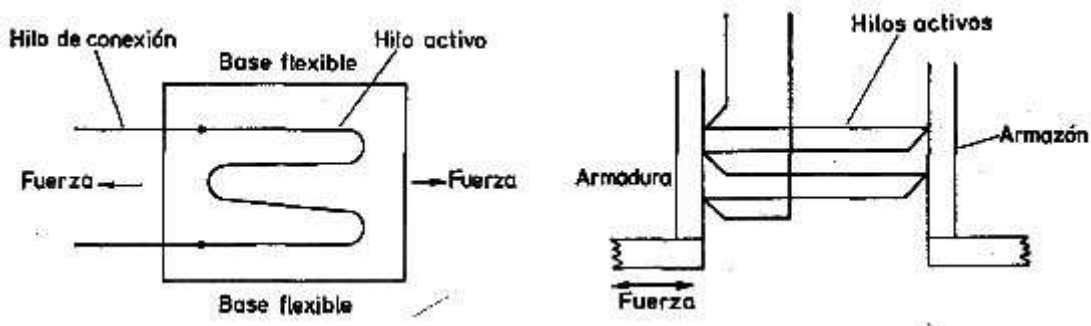


Figura 3.15 Galgas Extensiométricas.

**- Transductor Piezoeléctrico.**

Se componen de **elementos de estructura cristalina que al deformarse por la acción de la presión generan una señal eléctrica**. El efecto es reversible, y al aplicar una diferencia de potencial entre dos de las caras de un material piezoeléctrico, aparece una deformación.

Son ligeros, pequeños y robustos. Adecuados para medidas dinámicas y sensibles a los cambios de temperatura.

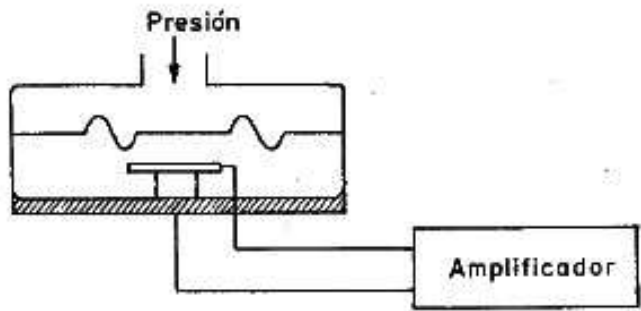


Figura 3.16 Transductor Piezoeléctrico.

### 3.5.3 SENSORES DE PRESION ELECTRONICOS DE VACIO.

- **TERMICOS.**

- **De Termopar.**

Contiene un **filamento en V que lleva incorporado un termopar**. Al pasar una corriente constante a través del filamento, su temperatura es inversamente proporcional a la presión absoluta del gas.

Son baratos, de larga duración y confortables. Son sensibles a la composición del gas.

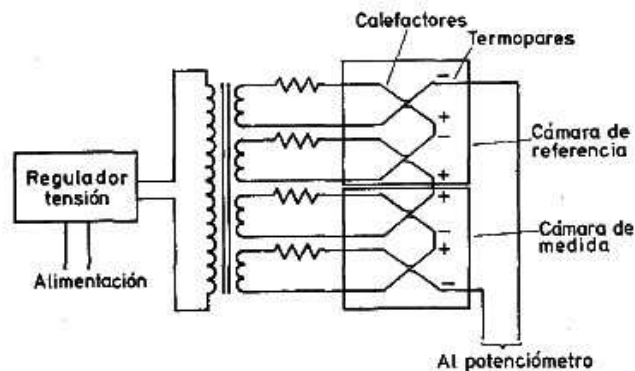


Figura 3.17 Sensor Térmico de Termopar.

- **Transductor Pirani.**

Utiliza un **circuito Wheatstone que compara la resistencia de dos filamentos de tungsteno, uno sellado en alto vacío y el otro en contacto con el gas medido**, y por lo tanto pierde calor por la conducción. La presión viene reflejada por la resistencia del filamento. Es compacto y de fácil manejo.

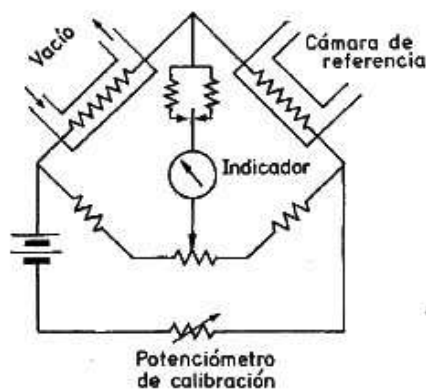


Figura 3.18 Transductor Pirani.

**- Bimetálico**

Utiliza una **espiral bimetálica calentada** por una fuente de tensión estabilizada. Cualquier cambio de presión, produce una deflexión de la espiral, que a su vez está acoplada a una escala.

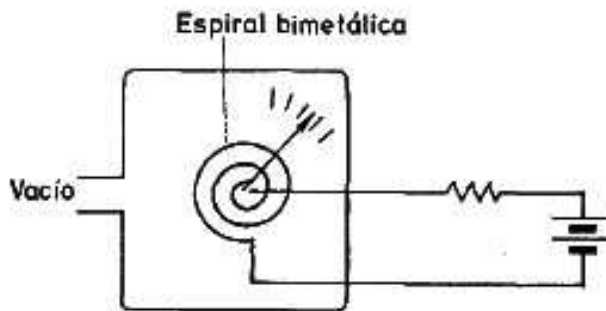


Figura 3.19 Transductor Bimetálico.

• **TRANSDUCTORES DE IONIZACIÓN.**

**- Transductores de Filamento Caliente.**

Consiste en un **tubo electrónico con un filamento de tungsteno rodeado por una rejilla en forma de bobina**, la cual a su vez está envuelta por una placa colectora. Los electrones emitidos por el filamento caliente se aceleran hacia la rejilla positiva, la atraviesan y en su camino hacia la placa colectora, algunos colisionan con moléculas de gas.

Son muy delicados y puede medir vacíos extremadamente altos ya que son muy sensibles.

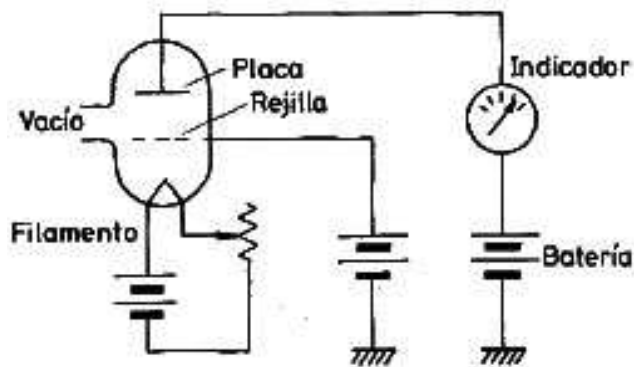


Figura 3.20 Transductor de Filamento Caliente.

**- Transductor de Cátodo Frío.**

Se basa en el principio de la medida de una corriente iónica producida por una descarga iónica producida a su vez por una descarga de alta tensión. Los electrones desprendidos del cátodo toman un movimiento en espiral moviéndose a través de un campo magnético en su camino hacia el ánodo. El movimiento en espiral da lugar a que el camino libre entre los electrones sea mayor que la distancia entre electrodos.

Es más robusto que el transductor de filamento caliente y no presenta el problema de la combustión del filamento.

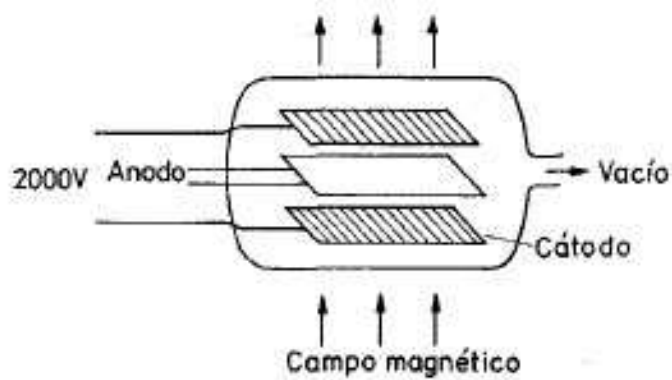


Figura 3.21 Transductor de Cátodo Frío.

### 3.6 SENSORES DE NIVEL.

Los sensores de nivel en su mayoría **trabajan indirectamente sensando la posición de un flotador mediante un sensor inductivo o un interruptor** del tipo de canilla y un imán permanente.

**No es recomendable utilizar los sensores de presión para medir el nivel de los líquidos**, ya que se obtienen mejores indicaciones si se utiliza sensores de capacitancia fija o sensores de nivel ultrasónicos.

Suelen aparecer dificultades al utilizar sensores de nivel debido a la presencia de agitadores, a la espuma o los sedimentos, a los cambios de densidad, viscosidad o de alguna propiedad eléctrica.

#### 3.6.1 SENSORES DE NIVEL PARA LIQUIDOS.

- **SENSORES DE MEDICION DIRECTA.**

##### **- Medidor de Sonda.**

El medidor de sonda consiste en **una varilla graduada que se introduce en un tanque**. El nivel se determina midiendo sobre la varilla la longitud que ha mojado el líquido del tanque.

##### **- Medidor de Nivel de Tubo de Vidrio.**

Consiste en un **tubo de vidrio graduado cuyos extremos se conectan al tanque**. El tanque se llena según el principio de los vasos comunicantes.

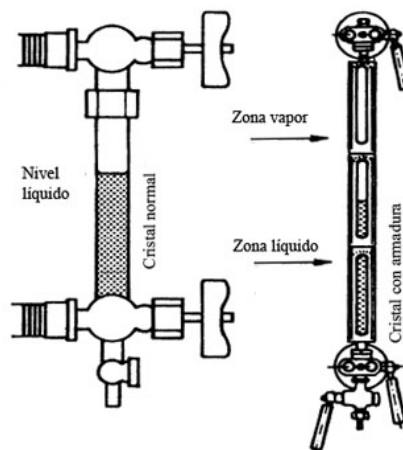


Figura 3.22 Medidor de Nivel de Tubo de Vidrio.

**- De Flotante.**

Se basan en utilizar un **flotador sometido a fuerza de gravedad y a la oposición que ejerce el fluido**. Utiliza un brazo rígido para indicar el nivel del líquido.

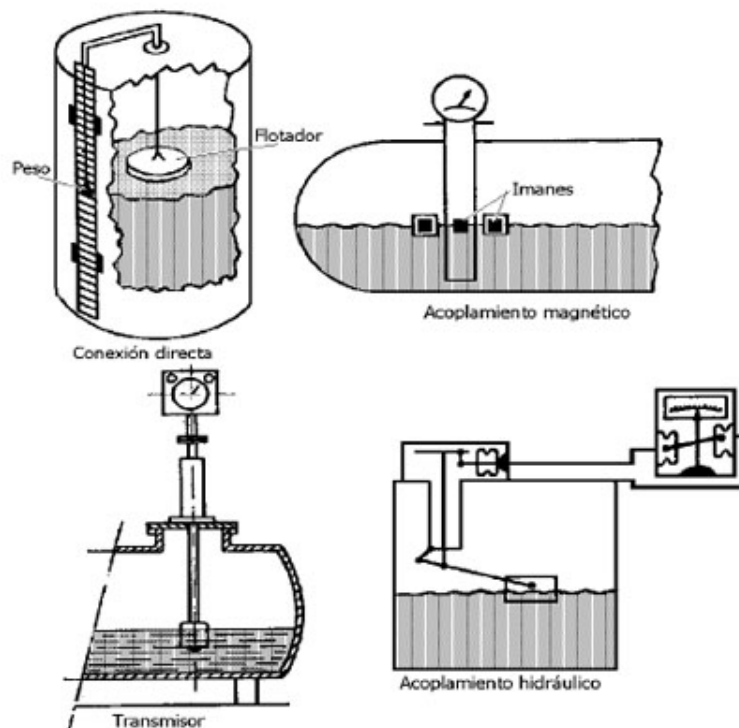


Figura 3.23 Medidor de Flotante.

• **SENSORES BASADOS EN PRESIÓN HIDROSTÁTICA.**

**- Medidor Manométrico.**

Mide la presión debida a la altura del líquido con respecto al eje de instrumentación.

**- Medidor de Burbujeo.**

Utiliza un tubo sumergido en un líquido a través del cual, se burbujea aire y se obtiene una presión en dicho tubo que equivale a la presión hidrostática ejercida por la columna de líquido.

- **SENSORES BASADOS EN DESPLAZAMIENTO.**

Consiste en un **flotador sumergido parcialmente en el líquido y conectado a un tubo de torsión mediante un brazo**. El tubo de torsión se caracteriza porque el ángulo de rotación de su extremo libre es directamente proporcional a la fuerza aplicada, que está definida por el empuje que ejerce el flotador.

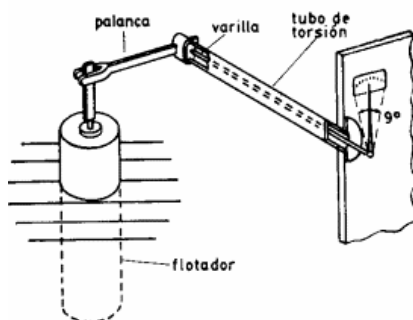


Figura 3.24 Sensor Basado en Desplazamiento

- **SENSORES BASADOS EN PROPIEDADES ELÉCTRICAS.**

- **Medidor de Nivel Conductivo.**

Consiste en **uno o varios electrodos y un relé** que opera cuando el líquido entra en contacto con los electrodos. La tensión de alimentación es alterna para que no se produzca la oxidación de los electrodos.

- **Medidor Capacitivo.**

**Mide la capacitancia del condensador**, que está formado por el electrodo y las paredes del tanque, el electrodo se encuentra sumergido en el líquido. La capacitancia del sistema depende linealmente del nivel.

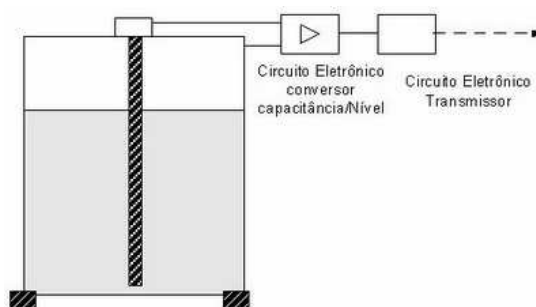


Figura 3.25 Medidor Capacitivo.



- **SENSORES BASADOS EN ULTRASONIDOS.**

Se basan en la emisión de un impulso a una superficie reflectante y el retorno del eco a un receptor. El retardo del eco depende del nivel de líquido.

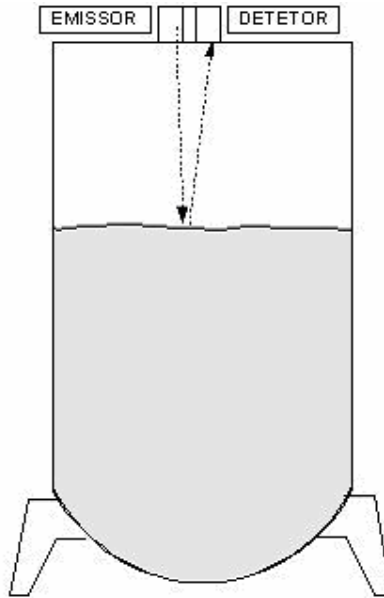


Figura 3.26 Sensor Basado en Ultrasonidos.

- **SENSORES BASADOS EN EMISIONES DE RAYOS GAMMA.**

Consisten en un **emisor de rayos gamma** que se monta verticalmente a un lado del tanque y un contador que transforma en señal eléctrica la radiación gamma recibida.

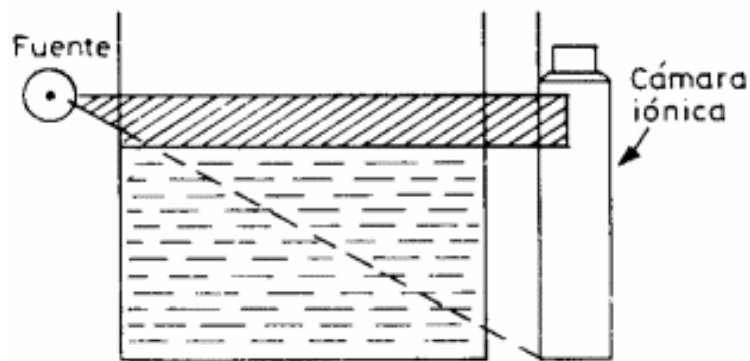


Figura 3.27 Sensor Basado en Emisiones de Rayos Gamma.

### 3.6.2 SENSORES DE NIVEL PARA SOLIDOS.

- **DETECTORES DE NIVEL FIJO.**

- **Detector de Diafragma.**

Utiliza un **diafragma flexible**, el cual está expuesto al material sólido de un tanque. Al aumentar el nivel de sólido del tanque, la presión causada fuerza al diafragma contra un contrapeso que actúa sobre el interruptor.

Son baratos y se utilizan en tanques cerrados sometidos a **baja presión**.

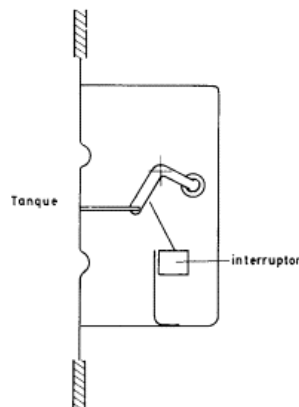


Figura 3.28 detector de Diafragma.

- **Detector de Cono Suspendido.**

Consiste en un **interruptor que se encuentra dentro de una caja, del cual se suspende el cono**. Cuando el nivel de material se eleva y se pone en contacto con el cono, éste actúa sobre el interruptor.

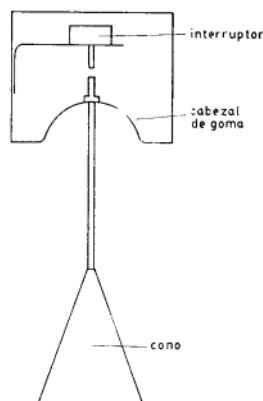


Figura 3.29 Detector de Cono Suspendido.

**- Detector de Paletas Rotativas.**

Está formado por un **motor síncrono con unas paletas acopladas en el eje vertical**. Cuando el nivel de sólido llega a las paletas, las hace girar y accionan dos interruptores, uno como indicador de nivel y el otro que desconecta el motor.

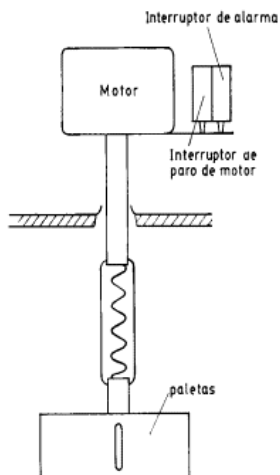


Figura 3.30 Detector de Paletas Rotativas.

• **DETECTORES DE NIVEL CONTINUO.**

**- Medidor de Nivel de Peso Móvil.**

Consiste en **sostener un peso móvil con un cable mediante poleas**. Cuando el nivel alcanza el peso, se activa un motor y sube dicho peso, para luego bajarlo hasta que toque otra vez el material.

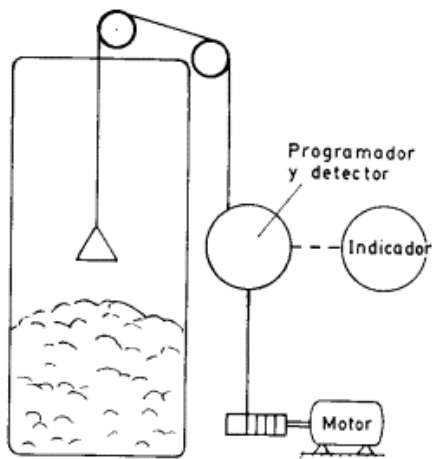


Figura 3.31 Medidor de Nivel de Peso Móvil.

**- Medidor Basado en Peso.**

Consiste en **pesar todo el tanque** con el material incluido. Es costoso pero es exacto.

**- Medidor Basado en Ultrasonidos.**

Se puede utilizar para **nivel fijo y para nivel continuo**. Para medir nivel fijo se pone horizontal. El receptor deja de recibir la onda cuando el material llega al nivel del sensor. Para medir nivel continuo se coloca verticalmente y la medida se basa en el tiempo que tarda la onda en ir desde el emisor hasta el receptor.

Este método es utilizado cuando hay mucho polvo, humedad, humo y vibración.

Tiene el inconveniente de que puede producir una medida errónea si la superficie no es regular.

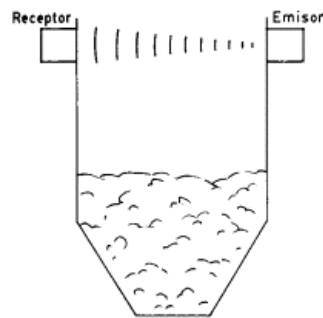


Figura 3.32 Medidor Basado en Ultrasonidos.

**- Medidor Basado en Radiación Gamma.**

Su funcionamiento se basa en **que la radiación emitida se verá afectada por el sólido contenido en el tanque**. Así pues se mide el nivel en basa a la radiación captada por el receptor.

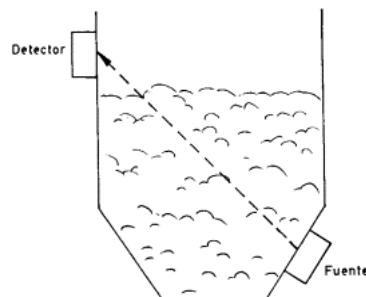


Figura 3.33 Medidor Basado en Radiación Gamma.

### 3.7 SENSORES DE CAUDAL.

En la operación de procesado de los alimentos el control del caudal es muy importante. A la hora de la selección del aparato a utilizar hay que tener en cuenta la viscosidad, la temperatura, la conductividad y la corrosividad del fluido, y también la presión requerida.

Los sensores de caudal contienen **una estructura de película fina aislada térmicamente**, que contiene elementos sensibles de temperatura y calor. La estructura de puente suministra una respuesta rápida al caudal de aire u otro gas que pase sobre el chip.

Existen varios tipos de medidores de caudal, dependiendo de si queremos medir **caudal másico o volumétrico**.

#### 3.7.1 SENSORES DE CAUDAL VOLUMETRICO.

Determinan el caudal en **volumen del fluido**, bien sea directamente o indirectamente por deducción.

- **PLACA ORIFICIO.**

Son **placas con un agujero por donde pasa el fluido**. Las placas pueden ser **concéntricas, excéntricas y segmentadas**, dependiendo de la forma del orificio.

El fluido pasa a través del orificio y se produce un aumento en la velocidad y una disminución en la presión. Para calcular el caudal se mide la presión a ambos lados de la placa y la diferencia de presión es proporcional al caudal. La placa orificio produce una caída de presión y se puede erosionar.

Se puede utilizar para cualquier fluido siempre que no hay partículas en suspensión.

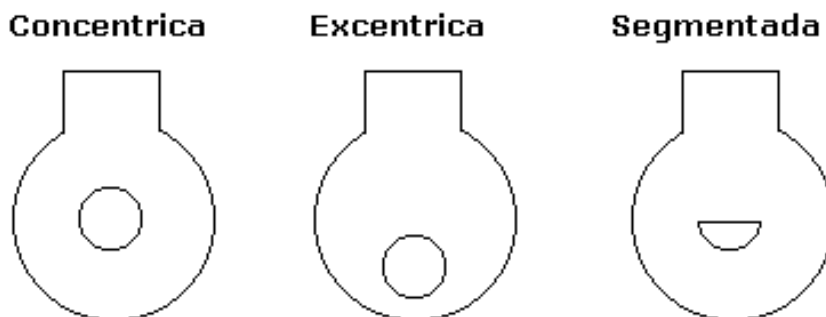


Figura 3.34 Placas Orificio.

- **TUBO DE VENTURI.**

Se utiliza cuando queremos **minimizar la caída de presión.**

Consiste en un **estrechamiento gradual cónico**, el cual provoca una caída de presión, y una descarga con caída también suave.

Se utiliza para **fluidos sucios** o ligeramente contaminados, siempre continuos.

Tiene el inconveniente de que es caro.

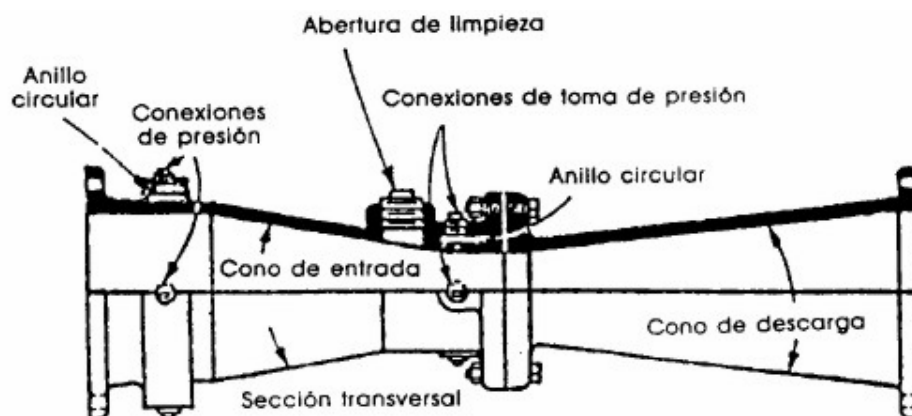


Figura 3.35 Tubo de Venturi.

- **TUBO DE PITOT.**

El tubo de Pitot **mide la velocidad en un punto.**

Consiste en un **tubo de pequeño diámetro que se opone al flujo**, con lo que la velocidad en su extremo mojado es nula. Midiendo la altura de la columna de líquido tenemos la presión total del punto.

Se utiliza para **tuberías de gran diámetro y para líquidos limpios.**

Es un método barato.

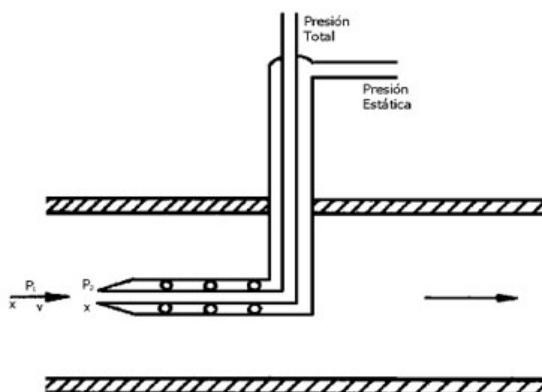


Figura 3.36 Tubo de Pitot.

- **TUBO DE ANNUBAR.**

Es una **variante del tubo de Pitot** que dispone de **varias tomas, a lo largo de la sección transversal**, con lo que podemos medir la presión total en varios puntos.

Tiene la ventaja de que se produce poca caída de presión y tiene un bajo precio.

- **MEDIDOR DE TURBINA.**

Consiste en un **rotor que gira al paso del fluido** con una velocidad directamente proporcional al caudal. Existen de dos tipos: **de reluctancia e inductivo**.

En los **de reluctancia**, la velocidad viene determinada por el paso de los **álabes de la turbina** a través de un campo magnético creado por un imán permanentemente montado en una bobina captadora exterior. Los de tipo **inductivo** **tiene un rotor que lleva acoplado un imán permanente** y el campo magnético giratorio que se origina induce una corriente alterna en una bobina captadora exterior.

Se usan en líquidos limpios y filtrados y son los más precisos.

Su campo de aplicación en la industria alimentaria son sistemas discontinuos o por lotes, de mezcla y de embotellado.

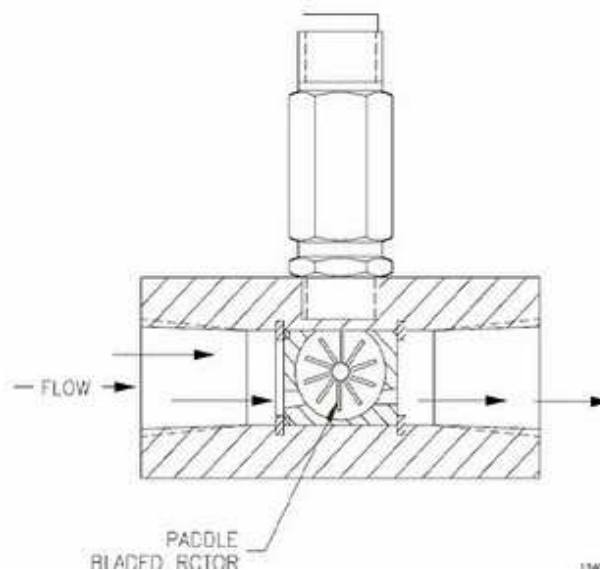


Figura 3.37 Medidor de Turbina.

- **TOBERA.**

Son elementos que tiene una mayor pérdida de carga que los Venturi, pero son más económicos.

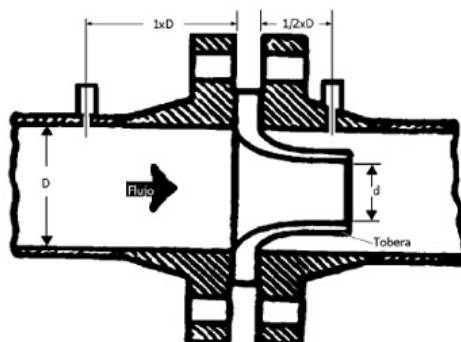


Figura 3.38 Tobera.

- **ROTAMETRO.**

Es un **tubo cónico vertical abierto**, dentro del cual puede moverse libremente un flotador (la posición del flotador es proporcional al caudal que circula).

Las ventajas del rotámetro son la simplicidad, la robustez, la confiabilidad y la baja caída en la presión.

- **VERTEDEROS.**

Se utilizan para fluidos que fluyen dejando una superficie libre. Suele ser de **forma triangular, trapezoidal, rectangular**, etc.

Tienen la desventaja de que no permite la medición de caudales de líquidos con alto contenido de sólido en suspensión y la pérdida de carga que se ocasiona es alta.

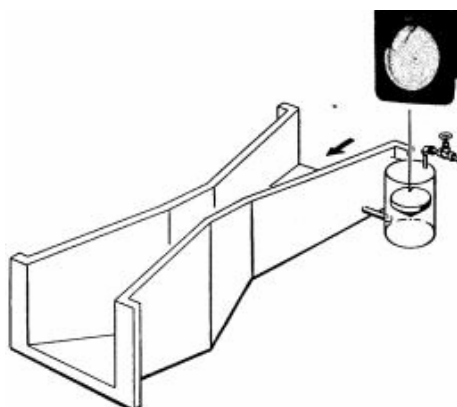


Figura 3.39 Vertedero.



- **MEDIDORES ULTRASONICOS.**

Los transductores de ultrasonidos, **miden el caudal por diferencia de velocidades del sonido** al propagarse éste en el sentido del flujo del fluido y en el sentido contrario.

- **MEDIDOR MAGNETICO.**

Se basa en la **ley de inducción electromagnética de Faraday**: “*el voltaje inducido en un conductor que se mueve en un campo magnético, es proporcional a la velocidad del conductor, dimensiones del conductor y fuerza del campo magnético*”. Está formado por un tubo de caudal y un transmisor.

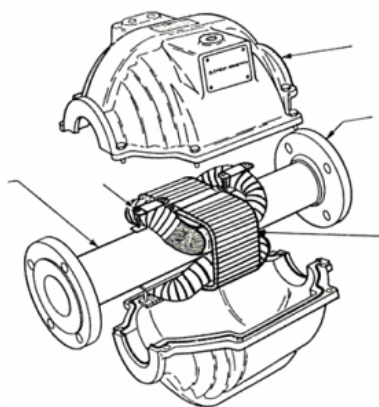


Figura 3.40 Medidor Magnético.

- **VORTEX.**

Su funcionamiento **se basa en los vórtices y remolinos que se producen** en un fluido cuando hay un obstáculo en su trayectoria. El número de vórtices está relacionado con la velocidad del fluido.

La medición se lleva a cabo mediante sensores de presión o de velocidad.

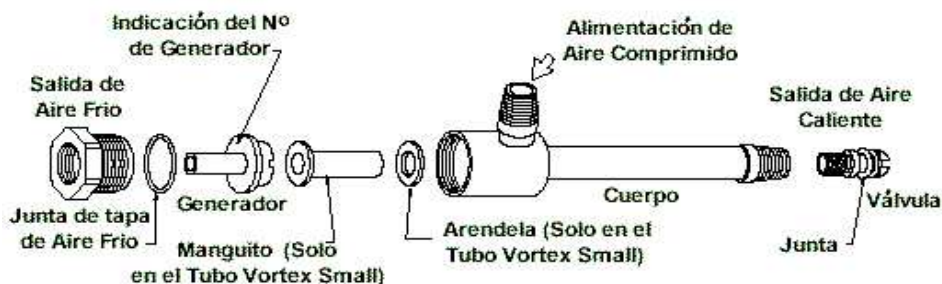


Figura 3.41 Partes de un Vortex.

- **MEDIDOR DE PALETA MOVIL.**

Se utiliza en los casos en los que se necesita una gran exactitud en la medida. Consiste en una **paleta que cierra el tubo** cuando el flujo es cero. El flujo hace que se abra el tubo un determinado ángulo que es proporcional a la tasa de flujo.

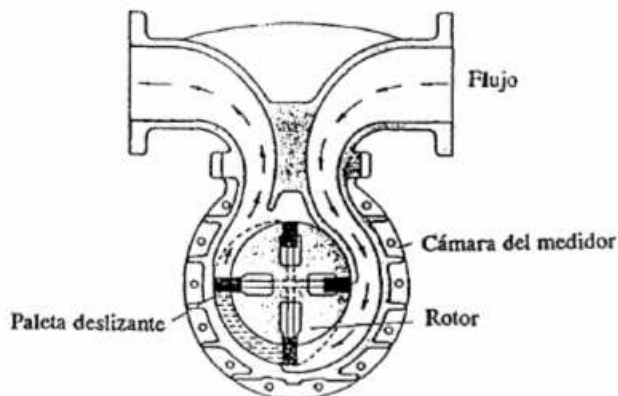


Figura 3.42 Medidor de Paleta Móvil.

### 3.7.2 SENSORES DE CAUDAL MASICO.

- **MEDIDOR TERMICO DE CAUDAL.**

Se basan en dos principios: *la elevación de temperatura del fluido en su paso por un cuerpo caliente y en la pérdida de calor experimentada por un cuerpo caliente inmerso en un fluido.*

Cosiste en **aportar calor en un punto de la corriente y medir la temperatura aguas arriba y aguas abajo**. La diferencia de temperaturas es proporcional al flujo másico existente.

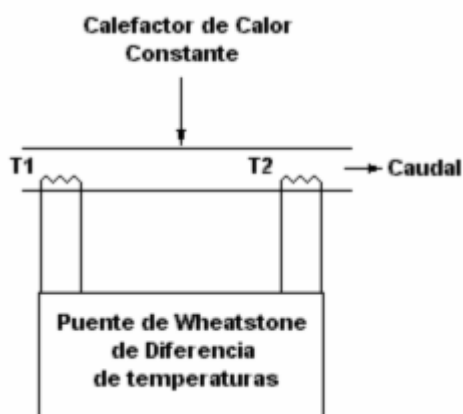


Figura 3.43 Medidor Térmico de Caudal.

- **MEDIDOR DE CORIOLIS.**

Se basa en que la **aceleración absoluta de un móvil es la resultante de la aceleración relativa, la de arrastre y la de Coriolis**. El sensor está formado por **tres bobinas electromagnéticas**. La bobina impulsora hace vibrar los tubos, sometiéndolos a un movimiento oscilante de rotación alrededor del eje. Los detectores electromagnéticos inducen la corriente eléctrica de forma senoidal. La medición es independiente de la temperatura, presión, densidad, viscosidad. Resulta barato ya que el mantenimiento es casi nulo. Se utiliza con **fluidos viscosos, sucios, corrosivos** con temperaturas altas y con bajas presiones.

Su funcionamiento es muy bueno teniendo en cuenta el rango de medición, la repetibilidad, la precisión y la estabilidad, pero tienen la desventaja de una gran caída de presión y una alta sensibilidad a las vibraciones externas.

En la industria alimentaria reutiliza con fluidos y con pastas.

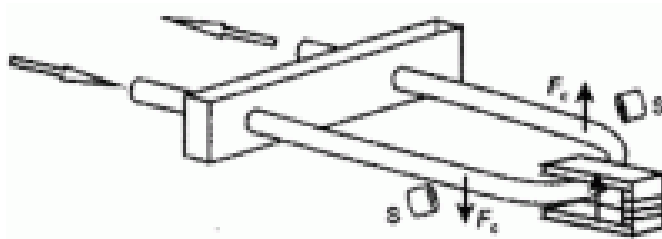


Figura 3.44 Medidor de Coriolis.

### 3.8 SENSORES DE DENSIDAD.

La densidad, la viscosidad y el tamaño de las partículas son propiedades de gran importancia en la industria alimentaria.

La densidad de un fluido puede medirse con un **detector de absorción radiactiva** fijado externamente. Esto es adecuado para la monitorización de la aireación de batido, o para monitorizar la densidad de empaquetado de grano.

Para la medición de densidad en procesos como la homogeneización de la leche, la fabricación de cerveza y para la extracción por disolventes en el refinado de aceites comestibles se necesita una medida de densidad muy precisa, por lo que esta precisión se obtiene utilizando un densímetro con elementos vibrantes.

Uno de los más sencillos consiste en un envase de volumen conocido, relleno de fluido y vibrando sobre un montaje de muelles calibrado.



Figura 3.45 Sensores de Densidad.

### 3.9 SENSORES DE VISCOSIDAD.

La **viscosidad** es una característica de los fluidos en movimiento, que **muestra una tendencia de oposición hacia su flujo ante la aplicación de una fuerza**. Cuanta más resistencia oponen los líquidos a fluir, más viscosidad poseen.

Existen tres tipos de viscosímetros en línea. El **viscosímetro de cilindro coaxial**: que tiene un elemento cilíndrico que rota dentro de un cilindro estático; es preciso para bajas viscosidades, pero no se puede utilizar si hay partículas en suspensión. El segundo tipo **se basa en la caída de presión en una tubería**, tiene presión limitada y es muy sensible a los ruidos. Y el último tipo es **una varilla que vibra y mide el producto de la densidad y la viscosidad**.



Figura 3.46 Sensor de Viscosidad.

## 3.10 SENSORES DE HUMEDAD.

### 3.10.1 HUMEDAD DE EQUILIBRIO.

La calidad de la mayor parte de los alimentos desde su origen hasta su consumo depende de la presencia de una cantidad adecuada de agua.

El contenido de humedad en los alimentos en equilibrio **puede ser medido por secado en horno a temperatura estándar** durante 16 ó 24 horas, **o estimado por algunos métodos más rápidos.**

Algunas de las técnicas utilizadas para medir la cantidad de agua en los alimentos son las que utilizan **calentamiento por microondas, los análisis con infrarrojos, la extracción de agua con isopropanol y la cromatografía gas-líquido.** Todas estas técnicas nos proporcionan una gran precisión.



Figura 3.47 Sensor de Humedad.

### 3.10.2 SENSORES DE MICROONDAS.

En el caso del secado de grano, la actividad de agua de trigo es sensible a pequeños cambios en el contenido de agua en base seca.

**Se utilizan instrumentos basados en el cambio de resistencia eléctrica, capacidad en frecuencia de radio o absorción de microondas para medir la humedad de grano.**

El vapor de agua muestra una serie de bandas de absorción en la región de las microondas debido a la cuantización de la energía de rotación. En el agua líquida estas bandas se ensanchan de forma que la energía de las microondas se absorbe de forma uniforme.

### **3.10.3 SENSORES DE INFRARROJOS.**

La **reflectancia en el infrarrojo cercano es una medida de superficie**, y su uso está restringido a los materiales en láminas y a los procesos que ofrecen una superficie expuesta fresca de material fresco mezclado.

Este método se utiliza por ejemplo para medir la humedad en los cereales de desayuno, en la harina de trigo, en las galletas semi-dulces.

## **3.11 SENSORES QUIMICOS Y BIOQUIMICOS.**

### **3.11.1 RESONANCIA MAGNETICA NUCLEAR.**

Esta técnica es utilizada para **identificar los componentes** de aceites **utilizando el análisis del espectro del carbono-13**. Existe la **resonancia magnética nuclear de baja resolución**, que es más adecuada para el procesado de alimentos, ya que utiliza las propiedades de los protones utilizando así campos magnéticos de menor potencia que los utilizados con la alta frecuencia.

Una de las primeras aplicaciones que tuvo esta técnica fue la detección de grasa sólida en margarina. También se ha utilizado para **distinguir las fases sólida y líquida, medir la madurez de frutas** de piel gruesa como cerezas y uva.

### **3.11.2 ELECTRODOS DE pH.**

La medida del pH en fluidos se realiza con **electrodo de vidrio sensible al pH**, monitorizando el cambio de energía dependiente de la concentración asociada con la ionización del agua en las paredes de un vidrio hidratadas; un segundo electrodo no sensible al pH se utiliza para medir la salida del electrodo de vidrio.

Uno de los problemas que presentan los electrodos de pH es que se pueden contaminar al bombear el líquido, ya que puede llegar a su interior.

La limpieza de los electrodos se puede realizar por varios métodos, cepillado por chorros o por ultrasonidos.

### **3.11.3 SELECTIVOS DE IONES.**

Una capa sensible a los iones es depositada sobre el transistor; los iones que se difunden en la región donde se han colocado polarizan la interfase entre el fluido y el lugar en el que están colocados.

Estos elementos muestran una gran dispersión de la medida, en el caso de que tenga dos capas dieléctricas pueden aparecer cargas adicionales en la interfase entre los dos aisladores.



### 3.12 SENSORES DE TAMAÑO.

La longitud y la anchura de piezas situadas en una cinta transportadora pueden medirse con la técnica de conteo y tiempo sobre la salida de video de una videocámara.

Se puede obtener mayor velocidad y precisión utilizando diodos led o fuentes de láser y matrices lineales de fotodiodos. Las matrices tienen una gran estabilidad dimensional. La ventaja de los diodos led es que **pueden ser modulados a alta frecuencia.**

Esta técnica se utiliza por ejemplo en el proceso de fabricación de galletas para controlar el espesor de las galletas. En procesos como el refinado de chocolate y el procesado de café, la calidad del producto depende del tamaño de las partículas.

### 3.13 SENSORES DE COLOR.

Hay técnicas que explican el color de los alimentos dependiendo de sus componentes, la mioglobina es la causante del color rojo de la carne, la melanina puede ser la causante del color oscuro de los vegetales crudos y las frutas.

Algunas de las aplicaciones en el sector alimentario es la industria de los cereales de desayuno y de los productos horneados.



Figura 3.48 Sensores de Color.

### 3.14 SENSORES DE TURBUDEZ.

La turbidez en las bebidas **está causada por partículas en suspensión**. La **turbidimetría, mide la absorción total de la luz**, se utiliza en las soluciones azucaradas. La **nefelometría, mide la luz reflejada o dispersa**, es utilizada en la fabricación de cerveza.



Figura 3.49 Sensores de Turbidez.

### 3.15 SENSORES DE LUZ.

- **LDR O FOTORRESISTENCIA.**

Un LDR es un resistor que varía su valor de resistencia eléctrica dependiendo de la cantidad de luz que incide sobre él.

Se le llama, también, **fotorresistor o fotorresistencia.**

El valor de resistencia eléctrica de un LDR es bajo cuando hay luz incidiendo en él (en algunos casos puede descender a tan bajo como 50 ohms) y muy alto cuando está a oscuras (puede ser de varios megohms).

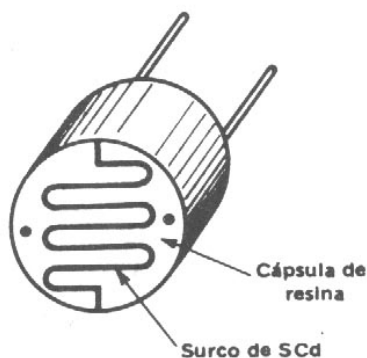


Figura 3.50 Fotorresistencia.

- **FOTOCELDA O CELDA FOTOVOLTAICA.**

La conversión directa de luz en electricidad a nivel atómico se llama generación fotovoltaica. Algunos materiales presentan una propiedad conocida como **efecto fotoeléctrico, que hace que absorban fotones de luz y emitan electrones**. Cuando se captura a estos electrones libres emitidos, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como energía para alimentar circuitos. Esta energía se puede utilizar, obviamente, para producir la detección y medición de la luz.



Figura 3.51 Celda Fotovoltaica.

- **FOTODIODO.**

El fotodiodo es un **diodo semiconductor**, construido con una unión PN, como muchos otros diodos que se utilizan en diversas aplicaciones, pero en este caso el **semiconductor está expuesto a la luz** a través de una cobertura cristalina y a veces en forma de lente, y por su diseño y construcción será especialmente sensible a la incidencia de la luz visible o infrarroja.

Todos los semiconductores tienen esta sensibilidad a la luz, aunque en el caso de los fotodiodos, diseñados específicamente para esto, la construcción está orientada a lograr que esta sensibilidad sea máxima.



Figura 3.52 Fotodiodo.

- **FOTOTRANSISTOR.**

Los fototransistores no son muy diferentes de un transistor normal, es decir, están compuestos por el mismo **material semiconductor**, **tienen dos junturas** y las mismas **tres conexiones** externas: **colector, base y emisor**.

Por supuesto, siendo un elemento sensible a la luz, la primera diferencia evidente es en su cápsula, que posee una ventana o es totalmente transparente, para dejar que la luz ingrese hasta las junturas de la pastilla semiconductora y produzca el efecto fotoeléctrico.



Figura 3.53 Fototransistor.

- **CCD.**

La abreviatura CCD viene del inglés *Charge-Coupled Device*, *Dispositivo Acoplado por Carga*. El CCD es un **circuito integrado**.

La característica principal de este circuito es que **posee una matriz de celdas con sensibilidad a la luz** alineadas en una disposición físico-eléctrica que permite "empaquetar" en una superficie pequeña un enorme número de elementos sensibles y manejar esa gran cantidad de información de imagen (para llevarla al exterior del microcircuito) de una manera relativamente sencilla, sin necesidad de grandes recursos de conexiones y de circuitos de control.

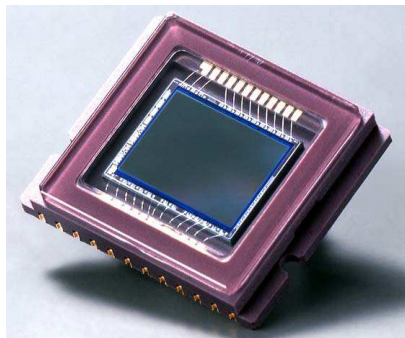


Figura 3.54 CCD.

### 3.16 SENSORES INDUCTIVOS.

Los sensores inductivos consisten en una **bobina cuya frecuencia de oscilación cambia al ser aproximado un objeto metálico** a su superficie axial. Esta frecuencia es empleada en un circuito electrónico para conectar o desconectar un tiristor y con ello, lo que esté conectado al mismo, de forma digital (ON-OFF) o, analógicamente. Si el objeto metálico se aparta de la bobina, la oscilación vuelve a empezar y el mecanismo recupera su estado original.

Estos sensores pueden ser de **construcción metálica** para su mayor protección o, de **caja de plástico**. Y pueden tener **formas anular, de tornillo, cuadrada, tamaño interruptor de límite**, etc.

Además, por su funcionamiento pueden ser del **tipo empotrable al ras en acero o, del tipo no empotrable**. Los del tipo no empotrable se caracterizan por su mayor alcance de detección, de aproximadamente el doble.

La técnica actual permite tener un alcance de hasta unos 100 mm en acero. El alcance real debe tomarse en cuenta, cuando se emplea el mismo sensor en otros materiales. Para el Acero Inoxidable debe considerarse un 80% de factor de corrección, para el Aluminio un 30 % y para el cobre un 25%.

Ciertas marcas fabrican estos sensores en dos partes, una parte es el sensor propiamente dicho y el otro es el amplificador de la señal de frecuencia mencionada arriba, con el fin de usarlos en zonas peligrosas. A estos sensores se les conoce como de "Seguridad Intrínseca".

Eléctricamente se especifican por el voltaje al que trabajan (20-40 V CD., 90-130 V CA., etc.) y por el tipo de circuito en el que trabajan (dos hilos, PNP, NPN, 4 hilos, etc.). Generalmente los tipos en corriente directa son más rápidos, funcionan en aplicaciones de alta frecuencia, que los de corriente alterna.



Figura 3.55 Sensor Inductivo.

### 3.17 SENSORES CAPACITIVOS.

Existen muchas aplicaciones que requieren sensar a distancia materiales no metálicos y, para ello se emplea este tipo de sensor, que usa el efecto capacitivo a tierra de los objetos a sensar. Ejemplos: presencia de agua en un tubo o el cereal dentro de una caja de cartón.

El elemento funcional primario del sensor capacitivo de proximidad es un **oscilador de alta frecuencia con un electrodo flotante** en el circuito de base de un transistor. En el estado de inactividad hay un campo ruidoso en la región de base, que representa el área activa del sensor de proximidad. Cuando un objeto aparece dentro del área activa, empiezan las oscilaciones. La etapa de conmutación rectifica las oscilaciones de alta frecuencia y la señal continua resultante se aplica a la etapa de salida. La etapa de conmutación incluye un sistema de señal de **retroalimentación**, el nivel del cual puede ajustarse en algunos modelos, a través de un potenciómetro; esto capacita el sensor de proximidad de variar su sensibilidad de respuesta.

Principalmente se emplean para **líquidos y sólidos no metálicos** y, externamente son muy parecidos a los sensores inductivos.

Tanto los sensores inductivos como los capacitivos tienen una distancia máxima de accionamiento, que depende en gran medida del área de la cabeza sensora (bobina o electrodo), por ello a mayor diámetro, mayor distancia máxima.

Además, la distancia de sensado siempre se especifica para agua en estado líquido pero, para otros materiales es diferente. Para el vidrio se tiene que considerar un factor de corrección del 65%, mientras que para el agua congelada del 30%.

Además de los voltajes y circuitos mencionados en los inductivos, existe también en los sensores capacitivos un tipo con salida analógica (4-20 mA).



Figura 3.56 Sensor Capacitivo.



### 3.18 SENSORES POR ULTRASONIDOS.

Este tipo de sensores, se basa en el mismo funcionamiento que los de tipo fotoeléctrico, ya que se **emite una señal**, esta vez de tipo ultrasónica, y esta señal es **recibida por un receptor**. De la misma manera, dependiendo del camino que realice la señal emitida podremos diferenciarlos entre los que son de **barrera o los de reflexión**.



Figura 3.57 Sensores por Ultrasonidos.

### 3.19 SENSORES DE ESFUERZO.

Este tipo de captadores, se encuentran basados en su mayor parte en el empleo de **galgas extensiométricas**, que son unos dispositivos que cuando se les aplica una fuerza, ya puede ser una tracción o una compresión, varía su resistencia eléctrica, de esta forma podemos medir la fuerza que se está aplicando sobre un determinado objeto.

- **GALGAS PIEZORESISTIVAS.**

Estas galgas están formadas por **un aislante, una malla de cables unidos a un substrato, cables que conectan la malla y un circuito para medición de resistencia.** La malla se orienta de tal forma que la deformación comprime las piernas de la malla longitudinalmente.

Tiene el inconveniente de que es sensible a la temperatura.

- **GALGAS PIEZORESISTIVAS SEMICONDUCTORAS.**

Estos elementos **reflejan un cambio en la resistencia eléctrica como respuesta a la deformación.**

Son elementos frágiles.

- **GALGAS PIEZOELÉCTRICAS.**

Son **condensadores de placas paralelas** cuya propiedad dieléctrica varía como respuesta a la deformación. Al cambiar la polaridad se produce una carga proporcional a la deformación.

Son baratos pero no son muy exactos.

## 3.20 SENSORES DE MOVIMIENTO.

Este tipo de sensores es uno de los más importantes en robótica, ya que nos da información sobre las evoluciones de las distintas partes que forman el robot, y de esta manera podemos controlar con un grado de precisión elevada la evolución del robot en su entorno de trabajo.

### 3.20.1 SENSORES DE DESLIZAMIENTO.

Este tipo de sensores se utilizan para indicar al robot con que fuerza ha de coger un objeto para que este no se rompa al aplicarle una fuerza excesiva, o por el contrario que no se caiga de las pinzas del robot por no sujetarlo debidamente.

Su funcionamiento general es simple, ya que este tipo de sensores se encuentran instalados en el órgano aprehensor (pinzas), cuando el robot decide coger el objeto, las pinzas lo agarran con una determinada fuerza y lo intentan levantar, si se produce un pequeño deslizamiento del objeto entre las pinzas, inmediatamente es incrementada la presión de las pinzas sobre el objeto, y esta operación se repite hasta que el deslizamiento del objeto se ha eliminado gracias a aplicar la fuerza de agarre suficiente.



Figura 3.58 Sensor de Desplazamiento.

### 3.20.2 SENSORES DE VELOCIDAD.

Estos sensores pueden detectar la velocidad de un objeto tanto sea lineal como angular, pero la aplicación más conocida de este tipo de sensores es la medición de la velocidad angular de los motores que mueven las distintas partes del robot. La forma más popular de conocer la velocidad del giro de un motor, es utilizar para ello una dinamo tacométrica acoplada al eje del que queremos saber su velocidad angular, ya que este dispositivo nos genera un nivel determinado de tensión continua en función de la velocidad de giro de su eje, pues si conocemos a que valor de tensión corresponde una determinada velocidad, podremos averiguar de forma muy fiable a qué velocidad gira un motor. De todas maneras, este tipo de sensores al ser mecánicos se deterioran, y pueden generar errores en las medidas.

Existen también otros tipos de sensores para controlar la velocidad, basados en el corte de un haz luminoso a través de un disco perforado sujetado al eje del motor, dependiendo de la frecuencia con la que el disco corte el haz luminoso indicará la velocidad del motor.



Figura 3.59 Sensor de Velocidad.

### 3.20.3 SENSORES DE ACELERACION.

Este tipo de sensores es muy importante, ya que la **información de la aceleración** sufrida por un objeto o parte de un robot es de vital importancia, ya que si se produce una aceleración en un objeto, este experimenta una fuerza que tiende a hacer poner el objeto en movimiento.

- **ACELERÓMETROS ELECTROMECÁNICOS.**

El funcionamiento de estos acelerómetros se basa en la **retroalimentación**. En ellos, una masa sensible a la aceleración se mantiene muy cerca de una posición neutra gracias a la realimentación. Se genera una fuerza magnética que se opone al movimiento de la masa. Estos acelerómetros **son lineales y eliminan el efecto de la histéresis**. Existen dos clases, los de **bobina magnética y los inductivos**.

- **ACELERÓMETROS PIEZOELÉCTRICOS.**

Los acelerómetros piezoeléctricos se utilizan para medir aceleraciones, vibraciones e impactos. Son unos **transductores de movimiento** con una señal de salida de gran amplitud pero de pequeño tamaño. Estos dispositivos utilizan una masa que está en contacto con un dispositivo piezoeléctrico. Cuando sobre el acelerómetro se aplica un movimiento variable, el cristal experimenta una fuerza de excitación.



Figura 3.60 Acelerómetro Piezoeléctrico.

- **ACELERÓMETROS PIEZORRESISTIVOS.**

Estos acelerómetros son **galgas extensiométricos semiconductoras** de gran sensibilidad. Utilizan **dos o cuatro galgas activas** conectadas en un puente Wheatstone. Son utilizados para detectar vibraciones de baja frecuencia.

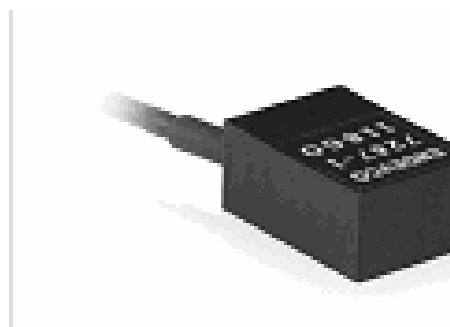


Figura 3.61 Acelerómetro Piezorresistivo.

- **ACELERÓMETROS DE CAPACITANCIA DIFERENCIAL.**

Estos acelerómetros se basan en el cambio de la capacitancia en función de la **aceleración** aplicada. El sistema se caracteriza por tener una frecuencia nominal cuando no está sometido a perturbación. Si se acelera el instrumento, la frecuencia varía dependiendo de la dirección de la aceleración.

- **ACELERÓMETROS DE GALGA EXTENSIOMÉTRICA.**

Se basan en las **propiedades de los conductores eléctricos**. Si un conductor se comprime, su resistencia se altera debido a los cambios de dimensiones y a sus propiedades piezorresistivas. Por lo que podemos decir que **la resistividad del conductor depende de la presión a la que es sometido**.

- **ACELERCOMETROS SÍSMICOS.**

Utilizan una **masa que suspendida por un resorte dentro de un marco rígido** que está unido a la fuente de vibración. Cuando se produce una vibración en el sistema, la masa tiende a permanecer en una posición fija de forma que el movimiento puede ser medido con el desplazamiento relativo entre el marco y la masa. Dicho desplazamiento se mide con un transductor.



Figura 3.62 Acelerómetro Sísmico.

- **ACELERÓMETROS INERCIALES.**

Son aquellos acelerómetros en los que **la fuerza**, que se requiere para limitar el movimiento de una masa cuando hay una vibración, **proviene de un sistema inercial** como por ejemplo un rotor de vibración o una cuerda vibratoria.

- **ACELERÓMETRO DE REALIMENTACIÓN DE FUERZA ELECTROSTÁTICA.**

Su funcionamiento se basa en **la ley de Coulomb entre dos electrodos cargados**. Los electrodos miden el voltaje según la fuerza que es requerida para sostener un electrodo móvil dentro de un área y con una separación conocida.

### 3.21 FIABILIDAD DE LA MEDIDA.

La calibración de los sensores se puede llevar a cabo mediante la evaluación de los resultados obtenidos con el sensor a partir de un material de referencia o mediante la comparación de las medidas con las muestras tomadas a lo largo del proceso.

Una de las maneras de clasificar los fallos puede ser la que se menciona a continuación:

- **condición:** por ejemplo la rotura del diafragma en un sensor de presión.
- **funcionamiento:** clasificación por efecto.
- **seguridad:** fallo seguro o fallo peligroso.
- **detección:** fallo descubierto o no descubierto.

Los factores de fiabilidad más importantes son:

- **diseño enfocado a la fiabilidad realizado durante el desarrollo del instrumento:** al aumentar la fiabilidad se necesitan componentes más caros, tienen mayor inefectividad y pueden mejorar el punto más débil del sistema.
  - **complejidad reducida:** hay que tener un número bajo de componentes.
  - **evitar una complejidad innecesaria:** las funciones adicionales o la precisión excesiva disminuyen la fiabilidad.
  - **uso de componentes comprobados:** obtener componentes con un programa que asegure la fiabilidad.
  - **reducción de los esfuerzos de los componentes:** la vida media de un componente depende de la disipación de potencia, de las tensiones de pico y de la humedad.

El mantenimiento preventivo planificado es menos costoso que el mantenimiento preventivo basado en condiciones. El **mantenimiento preventivo** permite detectar fallos repetitivos, disminuir los puntos muertos por paradas, aumentar la vida útil de equipos, disminuir costos de reparaciones. El **mantenimiento correctivo** es aquel que se lleva a cabo cuando se producen los fallos, es caro pero permite una gran disponibilidad.



### 3.22 BIBLIOGRAFIA Y PAGINAS WEBS.

Para la realización del manual de Sensores se han consultado las siguientes páginas webs:

- [www.directindustry.es](http://www.directindustry.es)
- [www.wika.es](http://www.wika.es)
- [www.termomed.net](http://www.termomed.net)
- [www.labpromm.blogspot.com](http://www.labpromm.blogspot.com)
- [www.arotubi.com](http://www.arotubi.com)
- [www.tumedicion.com](http://www.tumedicion.com)
- [www.pce-iberica.es](http://www.pce-iberica.es)
- [www.sapiensman.com/ESDictionary/docs/d7.htm](http://www.sapiensman.com/ESDictionary/docs/d7.htm)
- [www.sapiensman.com/neumatica/neumatica35.htm](http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica35.htm)
- [www.sensoresdenivel.blogspot.com](http://www.sensoresdenivel.blogspot.com)
- [www.sapiens.itgo.com/documents/doc60.htm](http://www.sapiens.itgo.com/documents/doc60.htm)
- [www.mediciondenivelessantech.blogspot.com](http://www.mediciondenivelessantech.blogspot.com)
- [www.medirvariables.blogspot.com](http://www.medirvariables.blogspot.com)
- [www.members.fortunecity.com/losdos/automatizacion1.htm](http://www.members.fortunecity.com/losdos/automatizacion1.htm)
- [www.sapiens.itgo.com/documents/doc17.htm](http://www.sapiens.itgo.com/documents/doc17.htm)
- [www.microbrian.com.ar](http://www.microbrian.com.ar)
- [www.sensoresdeproximidad.galeon.com](http://www.sensoresdeproximidad.galeon.com)
- [www.monografias.com/trabajos6/sicox/sicox.shtml](http://www.monografias.com/trabajos6/sicox/sicox.shtml)
- [www.lukor.com/ordenadores/05062902.htm](http://www.lukor.com/ordenadores/05062902.htm)
- [www.monografias.com/trabajos15/sistemas-control/sistemas-control.shtml](http://www.monografias.com/trabajos15/sistemas-control/sistemas-control.shtml)
- [www.librosvivos.net/smtc/homeTC.asp?TemaClave=1164](http://www.librosvivos.net/smtc/homeTC.asp?TemaClave=1164)
- [wikipedia.org/wiki/Sensor](http://wikipedia.org/wiki/Sensor)

Y también se ha consultado el libro “INGENIERIA DE CONTROL”  
W. Bolton. Marcombron, Boixareu Editores.

## **4. PRESENTACIONES DE POWERPOINT.**

A la hora de la realización del proyecto se han realizado dos presentaciones de PowerPoint, en las cuales se hace un resumen del contenido de cada uno de los temas y se incluyen videos explicativos.

### **4.1 PRESENTACION DE LOS SISTEMAS DE CONTROL.**

#### **4.1.1 INDICE DE LA PRESENTACION DE LOS SISTEMAS DE CONTROL.**

El índice que se indica a continuación es el utilizado en la presentación de PowerPoint de los Sistemas de Control. Está formado por catorce puntos principales y cada uno de ellos con sus correspondientes subapartados. Estos puntos tratan sobre la definición, clasificación y distintas características de los Sistemas de Control, así como de las principales características de algunos procesos de elaboración de ciertos productos alimenticios y de los elementos finales de control más utilizados.

##### **1. Definición de Sistemas de Control y Componentes.**

*1.1 Definición.*

*1.2 Componentes.*

##### **2. Estabilidad y Respuesta de los Sistemas de Control.**

*2.1 Estabilidad de los Sistemas de Control.*

*2.2 Respuesta de los Sistemas de Control.*

##### **3. Clasificación de los Sistemas de Control.**

*3.1 Clasificación.*

*3.2 Sistemas Hechos por las Personas.*

##### **4. Sistemas de Control de Lazo Abierto.**

*4.1 Sistemas de Control de Lazo Abierto.*

##### **5. Sistemas de Control de Lazo Cerrado.**

*5.1 Sistemas de Control de Lazo Cerrado.*

##### **6. Modelos de Sistemas de Control.**

*6.1 Modelos de Sistemas de Control.*

**7. Equipo Básico de un Sistema de Control.**

*7.1 Equipo Básico de un Sistema de Control.*

*7.2 Elementos de Medición.*

*7.3 Elementos Eléctricos de Corrección.*

*7.4 Elementos de Corrección Electroneumáticos o Hidráulicos.*

**8. Control de Procesos Discretos.**

*8.1 Introducción.*

*8.2 Modelos de Control Utilizados.*

**9. Equipos y Procedimientos de Control.**

*9.1 Sistemas de Datos de Formulación.*

*9.2 Manejo de Controladores.*

*9.3 Transmisión de Datos.*

*9.4 Regulación de Procesos.*

*9.5 Control y Optimización.*

**10. Control de los Procesos de Primera Transformación.**

*10.1 Harina.*

*10.2 Almidón.*

*10.3 Azúcar.*

*10.4 Leche.*

*10.5 Aceites y Grasas.*

*10.6 Zumos de Frutas.*

*10.7 Fermentación.*

**11. Productos Manufacturados.**

*11.1 Cocción por Extrusión.*

*11.2 Panaderías.*

*11.3 Lecherías.*

*11.4 Proceso Térmico de Alimentos Particulados.*

*11.5 Tostado del Café.*

**12. Productos que Mantienen su Estructura.**

*12.1 Carnes y Pescados.*

*12.2 Frutas y Hortalizas.*

*12.3 Envasado en Atmósferas Modificadas.*

*12.4 Dulces y Helados.*

*12.5 Encapsulación.*

*12.6 Envasado.*

### **13. Control Integrado de Planta.**

*13.1 Cableado de Campo.*

*13.2 Transmisión de Datos y Computadores Supervisores.*

*13.3 Tendencias en Software.*

*13.4 Recomendaciones para Proyectos Futuros.*

### **14. Elementos Finales de Control.**

*14.1 Elementos Finales de Control*

*14.2 Tipos de Válvulas.*

*14.3 Tipos de Actuadores.*

## **4.1.2 RELACION DE VIDEOS DE SISTEMAS DE CONTROL.**

Los videos utilizados han sido veintinueve, en ellos se muestra el funcionamiento de algunas válvulas y los procesos de elaboración de algunos alimentos.

1. Proceso Elaboración Zumo.
2. Elaboración del Aceite.
3. Lazo Abierto y Lazo Cerrado.
4. Elaboración Pan.
5. Elaboración Salchichas.
6. Elaboración Mantequilla.
7. Elaboración del Chocolate.
8. Elaboración del Queso.
9. Elaboración de Dulces.
10. Fermentación de la Uva.
11. Elaboración Pasta Fresca.
12. Fermentación Láctica.
13. Liofilización y Deshidratación.
14. Refinado de Aceite Vegetal.
15. Procesamiento del Almidón.
16. Proceso de Fabricación de la Leche.
17. Proceso del Azúcar.
18. Proceso del Azúcar2.
19. Secadero de Jamones.
20. Línea Móvil de Embotellado.

21. Elaboración de Harina.
22. Sistemas de Control.
23. Fabricación Cerveza.
24. Procesado del Café.
25. Válvula de Globo.
26. Válvula de Compuerta.
27. Válvula Mariposa.
27. Válvula de Bola
29. Actuadores Neumáticos.

## **4.2 PRESENTACION DE LOS SENSORES.**

### **4.2.1 INDICE DE LA PRESENTACION DE LOS SENSORES.**

El siguiente índice es el que se ha utilizado en la presentación de PowerPoint de los Sensores. Está formado por dieciséis puntos principales con sus correspondientes subapartados. Estos puntos tratan sobre la definición, clasificación y distintas características de los Sensores, haciendo mayor hincapié en la clasificación de los distintos tipos de Sensores.

#### **1. Introducción.**

*1.1 Definición de Sensor.*

*1.2 Tipos de Sensores.*

*1.3 Características de los Sensores.*

*1.4 Resolución y Precisión.*

#### **2. Clasificación de los Sensores.**

*2.1 Clasificación.*

#### **3. Sensores de Temperatura.**

*3.1 Introducción.*

*3.2 Clasificación de los Sensores de Temperatura.*

#### **4. Sensores de Presión.**

*4.1 Introducción*

*4.2 Sensores de Presión Mecánicos.*

*4.3 Sensores de Presión Electromecánicos.*

*4.4 Sensores de Presión Electrónicos de Vacío.*

#### **5. Sensores de Nivel.**

*5.1 Introducción.*

*5.2 Sensores Para Medir Nivel en Líquidos*

*5.3 Sensores Para Medir Nivel en Sólidos.*

#### **6. Sensores de Caudal.**

*6.1 Introducción.*

*6.2 Sensores de Caudal Volumétrico.*

*6.3 Sensores de Caudal Másico.*

#### **7. Sensores de Densidad.**

*7.1 Introducción.*

**8. Sensores de Viscosidad.**

*8.1 Introducción.*

**9. Sensores de Humedad.**

*9.1 Humedad de Equilibrio.*

*9.2 Sensores de Microondas.*

*9.3 Sensores de Infrarrojos.*

**10. Sensores Químicos y Bioquímicos.**

*10.1 Resonancia Magnética Nuclear.*

*10.2 Electrodo de pH.*

*10.3 Selectivos de Iones.*

**11. Sensores de Tamaño, Color y Turbidez.**

*11.1 Sensores de tamaño.*

*11.2 Sensores de Color.*

*11.3 Sensores de Turbidez.*

**12. Sensores de Luz.**

*12.1 Tipos de Sensores de Luz.*

**13. Sensores Inductivos y Capacitivos.**

*13.1 Sensores Inductivos.*

*13.2 Sensores Capacitivos.*

*13.3 Ventajas de los Sensores Inductivos y Capacitivos.*

**14. Sensores por Ultrasonidos.**

*14.1 Introducción.*

**15. Sensores de Esfuerzo.**

*15.1 Introducción.*

*15.2 Tipos de Sensores de Esfuerzo.*

**16. Sensores de Movimiento.**

*16.1 Sensores de Deslizamiento.*

*16.2 Sensores de Velocidad.*

*16.3 Sensores de Aceleración.*

#### **4.2.2 RELACION DE VIDEOS DE SENSORES.**

Los videos utilizados en el PowerPoint de los Sensores son doce, en ellos se muestra el funcionamiento de algunos sensores.

1. Sensores de Nivel.
2. Sensores de Luz.
3. Sensor de Presión.
4. Sensor de Proximidad.
5. Sensores Fotoeléctricos y Capacitivos.
6. Transmisor de Temperatura.
7. Medidores de Caudal.
8. Termistor.
9. Termómetro Infrarrojo.
10. Manómetro Bourdon.
11. Tubo Venturi.
12. Sensor de Humedad.



## **5. CASOS PRACTICOS.**

### **5.1 ELABORACION DE AZUCAR.**

El azúcar puede obtenerse principalmente a partir de la **caña de azúcar** y la **remolacha azucarera**. Para su obtención se requiere de un largo proceso, desde que la semilla de caña germina hasta que el azúcar se comercializa nacional.

La caña de azúcar es una gramínea anual en la que se manejan dos tipos de plantaciones: **caña planta**, que es el ciclo que comprende desde la siembra hasta el primer corte y **caña soca**, que empieza después del primer corte y termina con el último antes de hacer una nueva siembra, lo que se conoce como renovación. El proceso de elaboración del azúcar está dividido en dos etapas: **campo y planta**.

- **PROCESO DE CAMPO.**
  - **Siembra y Cultivo de la Caña Planta.**

La siembra de la caña de azúcar comienza con la selección de una buena semilla, ésta se obtiene a partir de un campo de caña planta escogido para utilizarse como semillero, bien cultivado y que esté libre de plagas y enfermedades. Entre los 7 y 9 meses de edad, se cortan los tallos de caña de azúcar en trozos que tengan por lo menos tres yemas, que son las que van a dar origen a las nuevas plantas.

La preparación del terreno para la siembra consiste en realizar dos o tres pasadas de rastras de discos, para eliminar las cepas del anterior cultivo, y proveer a la semilla de un terreno con suelo suelto donde pueda germinar y desarrollarse. Una vez preparado el terreno, se hacen surcos; el mismo equipo que surca el terreno, va aplicando en cada surco, la primera fertilización a base de nitrógeno, fósforo y potasio. La semilla se coloca en el fondo de estos y luego es tapada con tierra para proceder a dar el primer riego.

A los 75 u 80 días, se coloca tierra en la base de la hilera de caña para que esta quede elevada sobre la superficie del terreno; en este momento la planta recibe simultáneamente una segunda fertilización a base de nitrógeno. Los controles de malezas pueden ser químicos, mecánicos o manuales, y se hacen dependiendo de las necesidades específicas de cada lote. La caña planta es cosechada aproximadamente a los 13 meses.



Figura 5.1 Proceso de Siembra del Azúcar

### **- Cultivo de Caña Soca.**

La caña soca comienza después del primer corte. La primera labor que se realiza es la disposición o el encalle de los residuos de cosecha (hojarasca, cogollos...). Luego se hacen de manera simultánea la roturación y la fertilización mecánica del cultivo, aplicando nitrógeno y potasio; la roturación se hace para aflojar la superficie del suelo, para romper la compactación producida por el tráfico de los equipos de la cosecha, y mejorar la infiltración del agua del riego. La siguiente labor que se realiza es el riego. La cosecha de la caña soca se realiza aproximadamente a los 12 meses de edad.

### **- Cosecha.**

La preparación de la caña para la cosecha empieza con la aplicación de madurante, el cual ayuda a incrementar el contenido de sacarosa en la caña y se realiza entre 7 a 9 semanas antes de la fecha de corte. Una vez que el lote tiene la edad adecuada, se procede a quemarlo para facilitar la labor de cosecha; al día siguiente se corta la caña, bien de forma manual o mecanizada. Para el corte manual se utiliza machetes. En la cosecha mecanizada o con cosechadoras, la caña es cortada, picada, limpiada y botada por ésta directamente hacia el camión o carretón, que se ubica y rueda paralelo a la cosechadora.



Figura 5.2 Proceso de Cosecha.

### **• PROCESO DE PLANTA.**

La caña cosechada en el campo es transportada hacia la fábrica por medio de camiones, dichos camiones son pesados para conocer el peso de la caña que llega a la fábrica.

Una vez pesados se distribuyen los camiones hacia el tandem de molinos. Cada tandem de molinos posee dos viradoras de caña.

Una vez que son viradas las cargas de caña en las respectivas viradoras de cada tandem de molinos, lo primero que se realiza es un **lavado con agua** para retirarles la tierra y la suciedad que puedan traer del campo. Luego la caña pasa por una primera picadora, que tiene por objeto desmenuzar la caña. Posteriormente pasa por una

segunda picadora para completar el desmenuzamiento de la caña. Cuanto más desmenuzada esté la caña se logrará un mejor trabajo de extracción en los molinos y se mejorará el rendimiento.

Durante este proceso sólo se realiza una **fragmentación de la caña pero sin extraerle el jugo**, pues no hay acción de compresión.

La caña desmenuzada es transportada a través de un conductor hacia los molinos para proceder, por compresión, a extraer el jugo contenido en la caña. El jugo que se extrae de cada molino cae hacia un tanque, llamado "**tanque de jugo mezclado**". El jugo mezclado del tandem es bombeado hacia una balanza para registrar su peso. El jugo que tenemos ahora puede contener tierra, arena, residuos de caña y otras impurezas, por lo que deben ser **clarificadas** para poder ser utilizadas.



Figura 5.3 Picado del Azúcar.

### **- Desinfección del Jugo.**

La desinfección es realizada en las llamadas **columnas de sulfitación**, que son equipos que trabajan en contracorriente, ingresando el jugo mezclado por la parte superior y alimentando anhídrido sulfuroso por la parte inferior. El anhídrido sulfuroso es obtenido mediante combustión de piedras de azufre. Al entrar en contacto el anhídrido con el jugo se produce la desinfección, destruyéndose los agentes patógenos, bacterias y microbios que pudiesen estar presentes en el jugo.

Simultáneamente la sulfitación reduce las sales férricas presentes a sales ferrosas. Durante esta etapa del proceso se produce un incremento en la acidez del jugo tratado.

### **- Clarificación del Jugo.**

Una vez que se ha desinfectado el jugo se procede a separar la tierra, arena y demás impurezas sólidas presentes en el jugo. Esto se realiza mediante **sedimentación**. La precipitación de las impurezas sólidas es más eficiente si es realizada en caliente.

Después del calentamiento se agrega floculante para agrupar las impurezas sólidas presentes, que al ser más pesadas que el jugo tienden a sedimentar.

La separación de los sólidos suspendidos se realiza en equipos llamados clarificadores, obteniéndose por la parte superior un jugo limpio y brillante, llamado "**jugo clarificado**" y por el fondo del equipo un lodo que contiene todas las impurezas sólidas (tierra, arena, residuos de cal y residuos de floculante). A este lodo se lo denomina "**cachaza**".



Figura 5.4 Clarificación.

#### **- Filtración de la Cachaza.**

La cachaza, por haber estado en contacto con el jugo, es un lodo, el cual debe ser recuperado. Esto se realiza en **filtros rotativos** al vacío obteniéndose: una torta sólida de **cachaza**, que por tener presencia de elementos nutrientes es utilizada para enriquecer las aguas de riego de los cultivos de caña, y un jugo sucio llamado "**jugo filtrado**", que es alimentado al clarificador de jugo filtrado para separarle las impurezas sólidas presentes y obtener un jugo que pueda ser recirculado al proceso.

Durante el proceso de filtración se alimenta agua condensada a presión para realizar un lavado de la torta de cachaza y facilitar la extracción de la sacarosa presente.

#### **- Evaporación del Jugo Clarificado.**

El jugo clarificado pasa luego a la sección evaporación para **eliminar gran parte del agua** presente en el jugo. El jugo clarificado posee aproximadamente un 82-87 % de agua, por efecto del trabajo de los evaporadores de múltiple efecto se logra reducir el contenido de agua al 33-40 %, denominándose "**meladura**" al jugo concentrado que sale de los evaporadores.



Figura 5.5 Proceso de Evaporación.

### **- Cristalización y Centrifugación.**

La presencia de sólidos insolubles en la meladura representa un problema no deseado, razón por la cual la meladura es alimentada a un equipo de **clarificación** por flotación para minimizar este riesgo y **obtener una meladura más clara** que se constituya en un material que aporte significativamente a la consecución de un azúcar de buena calidad.

Para lograr la formación de los cristales de azúcar (sacarosa) se requiere eliminar el agua presente en la meladura, esto se realiza durante la cocción de las templeas en equipos llamados “**tachos**”, que no son otra cosa que **evaporadores de simple efecto** que trabajan al vacío.



Figura 5.6 Proceso de Cristalización.

Cuando el producto alcanza la concentración deseada, se descarga la templa o masa cocida hacia los cristalizadores para terminar de agotar las mieles. Para lograr la separación de los cristales de las mieles se emplean las centrífugas de segunda.



Figura 5.7 Proceso de Centrifugación.

### **- Secado.**

Una vez descargado de las centrífugas se procede al secado del azúcar empleando una **secadora rotativa al vacío**. La humedad máxima permitida en el azúcar debe ser 0.075 %. El azúcar seco es conducido hacia las tolvas de almacenamiento para su posterior envasado en sacos.

### **- Envasado.**

Una vez envasado el producto se debe controlar el peso de los sacos para comprobar que se cumpla con la norma de 50 Kg. de peso neto de azúcar por saco, luego se transportan los sacos hacia la bodega para su posterior distribución.

El producto es embalado en las presentaciones de 250 gramos, 500 gramos, 1 Kg, 2 Kg y 5 Kg. envasados en fundas plásticas (polipropileno) y al granel en 50 Kg. envasados en sacos de papel.



Figura 5.8 Envasado del Azúcar.

### 5.1.1 SENSORES UTILIZADOS.

Durante el proceso de elaboración del azúcar hay que tener controladas distintas variables como: el nivel, el flujo, la concentración y la temperatura.

Para controlar la concentración utilizamos un sensor de concentración tipo Coriolis especial para flujos, tanto de gases como líquidos. Este sensor es bastante preciso además no solo entrega medida de flujo sino más importante aun medidas de densidades. Con lo cual podemos obtener la concentración de azúcar. El sensor más utilizado para ello es un sensor de la marca Siemens (SITRANS FC300).



Figura 5.9 Sensor de Concentración.

Para el control de la temperatura en los evaporadores, utilizamos las **termocuplas tipo K**, vienen con vaina marrón, siendo el aislamiento de su conductor positivo (Cromel: Aleación de Cromo y níquel) de color amarillo, mientras que la de su conductor negativo (Alumel: Aleación de aluminio y níquel) de color rojo.

El flujo lo controlaremos con **sensor de flujo tipo Vortex**. El Vortex se basa en la determinación de la frecuencia del torbellino producido por una hélice estática dentro de la tubería a cuyo través pasa el fluido (líquido o gas).

Para poder controlar el nivel de jugo en cada evaporador utilizamos un **medidor de nivel por ultrasonidos**.



## 5.2 ELABORACION DE PAN.

Existen tres sistemas generales para la elaboración del pan dependiendo de la levadura utilizada:

- **Directo.**

Es el menos frecuente y se caracteriza por utilizar exclusivamente **levadura comercial**. Requiere un periodo de reposo de la masa de unos 24 minutos antes de la división de la masa. No es útil en procesos mecanizados con división automática volumétrica.

- **Mixto.**

Es el sistema más frecuente en la elaboración de pan común. Utiliza simultáneamente **masa natural y levadura comercial**. Requiere un reposo previo a la división de la masa de solo unos 10 ó 20 minutos. Es el más recomendado cuando la división de la masa se hace por medio de divisora volumétrica.

- **Esponja.**

Es el sistema utilizado para la elaboración de pan francés o de molde. Consiste en elaboración de una masa líquida con el 30 ó 40% del total de la harina, la totalidad de la levadura y tantos litros de agua como kilos de harina se utilizan. Se deja reposar unas horas. Se añade el resto de la harina y del agua, y a partir de ahí se procede como en el método directo.

El proceso de elaboración de la harina consta de las siguientes fases:

- **AMASADO.**

El objetivo del amasado es **lograr la mezcla adecuada** de los distintos ingredientes y conseguir, por medio de del trabajo del amasado las características plásticas de la masa así como su perfecta oxigenación. El amasado se realiza con máquinas llamadas **amasadoras**, que constan de una artesa móvil donde se colocan los ingredientes y de un elemento amasador cuyo diseño determina, en cierto modo, los distintos tipos de amasadoras, siendo las más utilizadas la amasadora de brazos de movimiento variado y las de espiral.



Figura 5.10 Amasado del Pan.



- **DIVISION Y PESADO.**

El objetivo de esta fase es **dar a las piezas el peso justo**. Si se trata de piezas grandes se suelen pesar a mano y en el caso de las piezas pequeñas se utiliza una **divisora hidráulica**, pesando a mano un fragmento de masa múltiplo del número de piezas que da la divisora.



Figura 5.11 División de la Masa.

- **BOLEADO.**

El boleado consiste en **dar forma de bola al fragmento de masa** y su objetivo es **reconstruir la estructura de la masa tras la división**. Puede realizarse a mano, si la baja producción o el tipo de pan así lo aconsejan. O se puede realizar mecánicamente por medio de **boleadoras**, siendo la más frecuente la formada por un cono truncado giratorio.



Figura 5.12 Boleado.

- **REPOSO.**

El objetivo del reposo es **dejar descansar la masa para que se recupere** de la degasificación sufrida durante la división y el boleado. Esta etapa puede ser llevada a

cabo a **temperatura ambiente** en el propio obrador o en las cámaras de bolsa, en las que se controla la temperatura y el tiempo de permanencia.

- **FORMATO.**

En la etapa de formado se da la **forma correspondiente a cada tipo de pan**. Si la pieza es redonda, el resultado del boleado proporciona ya dicha forma. Si la pieza es grande o tiene una forma especial suele realizarse a mano. En el caso de las barras de pan esta operación se realiza por medio de **máquinas formadoras de barras**. En estas formadoras, dos rodillos giran en sentido contrario aplastando el fragmento de masa y lo enrollan sobre si mismo con ayuda de una tela fija y otra móvil.

- **FERMENTACION.**

La fermentación consiste básicamente en una fermentación alcohólica llevada a cabo por levaduras que transforman los azúcares fermentables en etanol. CO<sub>2</sub> y algunos productos secundarios. Los objetivos de la fermentación son la **formación de CO<sub>2</sub>**, para que al ser retenido por la masa ésta se esponje, y **mejorar el sabor del pan** como consecuencia de las transformaciones que sufren los componentes de la harina.

En la práctica se habla de varias fases o etapas dentro del proceso de fermentación:

- **La Fermentación** correspondiente a la elaboración de la masa madre o de la esponja en los métodos directos.

- **La Fermentación en Masa**, es el periodo de reposo que se da a la masa desde que finaliza el amasado hasta que la masa se divide en piezas.

- **La Fermentación Intermedia**, es el periodo de reposo que se da a la masa en las cámaras de bolas tras en proceso de boleado y antes del formado.

- **La Fermentación Final**, es el periodo de reposo que se da a las piezas individuales desde que se produce el formado hasta que se inicia el horneado del pan.



Figura 5.13 Fermentación del Pan.

- **CORTE.**

Es la operación intermedia que se hace después de la fermentación, justo en el momento en que el pan va a ser introducido en el horno. Consiste en practicar **pequeñas incisiones en la superficie de las piezas**. Su objetivo es **permitir el desarrollo del pan** durante el proceso de cocción.



Figura 5.14 Masa ya Cortada.

- **COCCION.**

El objetivo de la cocción es la **transformación de la masa fermentada en pan**, lo que conlleva: evaporación de todo el etanol producido en la fermentación, evaporación de parte del agua contenida en el pan, coagulación de las proteínas, transformación del almidón azúcares menores y pardeamiento de la corteza. La cocción se realiza en hornos a temperaturas que van desde los 220 a los 260 °C, aunque en el interior de la masa nunca se llega a rebasar la temperatura de 100°C.

Los **hornos** utilizados en panadería pueden ser **continuos**, cuando es posible alimentarlos con una secuencia ilimitada de piezas, o **discontinuos** cuando una vez cargados hay que esperar a que se cuezan las piezas para sacarlas e introducir otras nuevas.

### 5.2.1 SENSORES UTILIZADOS.

En el proceso de elaboración del pan no son muchos los sensores utilizados, ya que las propiedades a tener en cuenta no son muchas. Entre los sensores utilizados cabe destacar los sensores térmicos, que se utilizan en el proceso de reposo de la masa y en el proceso de horneado o cocción. El **termómetro bimetálico** se utiliza para el control de la temperatura en el reposo y para medir la temperatura de horneado se utiliza el propio termómetro que lleva incorporado el horno.

## 5.3 ELABORACION DE CHOCOLATE.

El proceso de la elaboración del chocolate se puede dividir en las siguientes fases o etapas:

- **LIMPIEZA.**

La primera etapa en el procesamiento del cacao es la limpieza, consiste en **eliminar los cuerpos extraños**, como: metales, piedras, trozos de madera, vidrios, entre otros. Después de esta operación es posible que aún queden residuos, los cuales se eliminan posteriormente en forma manual.

- **DESCASCARILLADO.**

Es el proceso en el que se **elimina la cáscara**, la cual constituye la cubierta exterior de la semilla del cacao. Indiferentemente de los distintos fines que se persigan con los granos del cacao en la industria, todos deben someterse primero a un proceso de descascarillado antes de que se transformen en pasta o licor de cacao.

Existen **dos variantes** importantes de este proceso. El primero consiste en el **tostado previo del grano junto con su cáscara**, a bajas temperaturas, y después, se procede con la eliminación de esta última. En la segunda variante se realiza el **descascarillado previo**, el secado de los granos con radiación infrarroja, el descascarillado y el proceso de tostado de los cotiledones hasta el punto deseado. Este último proceso se considera más adecuado para el procesamiento de grandes volúmenes de cacao debido a su alta rentabilidad.

- **TOSTADO.**

El tostado es la operación esencial donde primero, a partir del contenido de humedad natural, en combinación con el calentamiento, se promueve un conjunto de reacciones químicas, en las cuales intervienen los compuestos precursores formados durante la fermentación y el secado, que luego darán origen al sabor y aroma inicial del chocolate. Sin embargo, el buen sabor y aroma depende mucho de la variedad de cacao que proporcionó las almendras y de la manera como se realizó el proceso de fermentación y secado.



Figura 5.15 Tostado del Chocolate.

- **ALCALINIZADO.**

Las semillas de cacao experimentan un proceso denominado **alcalización**, generalmente con carbonato de potasio, que se destina a **aumentar la intensidad del sabor y el color** del producto final. Esta operación se puede aplicar en diferentes niveles del proceso de transformación de la almendra de cacao.

- **MOLIENDA.**

Las almendras de cacao se muelen para **producir el licor de cacao**; luego las partículas del cacao son suspendidas en manteca de cacao fundida. La temperatura y la intensidad de la molienda fluctúan, según el tipo de semilla de cacao empleada y de las especificaciones del diseño exigidos para el producto final.

El cacao tostado y limpio **se muele mediante rodillos**; anteriormente se empleaban rodillos fabricados de granito, pero ahora los de acero se usan con mayor regularidad. Para separar el germen se emplean dispositivos especiales, porque éste tiene un sabor amargo que puede afectar su calidad. La masa o licor de cacao pasa luego a prensas; en esta etapa es cuando se separa la grasa de la masa o licor hasta el porcentaje deseado, y el residuo que se forma durante este proceso es lo que constituye la torta de cacao. Para producir la torta con diversas proporciones de grasa, el fabricante controla la cantidad de manteca que se extrae del licor. La torta se pulveriza con la finalidad de preparar el polvo de cacao, el cual tiene un uso muy amplio en la industria alimentaría. Usualmente, al polvo de cacao se le da sobar con vainilla, canela y otras especias en polvo o resinas oleosas. Estos saborizantes se agregan en forma de polvo; sin embargo, el tamaño de sus partículas debe ser mucho menor a las partículas que constituyen el polvo de cacao.



Figura 5.16 Proceso de Molienda.

- **MEZCLADO.**

El licor del cacao se **mezcla con manteca de cacao, azúcar, leche y agentes emulsionantes**. Las proporciones de estos ingredientes varían según el tipo de chocolate que se pretenda fabricar. La mezcla se somete a un proceso de refinación con el propósito de mejorar su textura.

- **REFINADO.**

La mezcla inicial es luego procesada en **refinadoras de cinco cilindros** con el objetivo de **disminuir el tamaño de las partículas**, de tal forma que el chocolate final sea suave al paladar evitando así la sensación de arenosidad que suelen presentar chocolates mal procesados.

- **CONCADO.**

El chocolate refinado es luego depositado en tanques o "**concas**" donde es sometido a un batido intenso durante aproximadamente veinticuatro horas. En este proceso, conocido como concado, se busca por un lado **redondear las diminutas partículas ya refinadas** y adicionalmente **extraer los componentes volátiles no deseados** presentes todavía en la mezcla. Se trata principalmente de ácidos provenientes del cacao que no aportan aroma en el chocolate sino solamente astringencia y amargor. El tipo de concado y duración los elige el productor a su criterio y en gran forma determinan las características propias de cada chocolate.

- **TEMPLADO.**

El chocolate terminado en estado líquido **debe ser templado para poder darle la forma sólida deseada**. El chocolate templado es luego, dosificado en distintas formas. Luego de moldeado/dosificado el chocolate es enfriado en túneles refrigerados a temperaturas que varían desde los 15°C hasta 5°C para lograr su estado sólido

### **5.3.1 SENSORES UTILIZADOS.**

En el proceso de elaboración del chocolate se utilizan distintos tipos de sensores dependiendo de la etapa del proceso en la que nos encontremos. En el descascarillado se utilizan **sensores de temperatura**, para controlar que la temperatura a la que se lleva a cabo el proyecto no sea demasiado elevada, en el tostado se utilizan **sensores de humedad** para controlar la cantidad de agua del producto, otros sensores de temperatura se utilizan también en la etapa de molienda, y los **sensores de tamaño** se utilizan en el

refinado, ya que la calidad del chocolate depende del tamaño final de las partículas una vez refinadas.

## **6. CONCLUSIONES.**

La realización de este proyecto ha tenido como objetivo la elaboración y desarrollo de material docente para una asignatura que trabaja el ámbito de los equipos e instalaciones en la industria agroalimentaria.

Para poder realizar dicho proyecto se ha consultado material, tanto a través de Internet como la consulta de libro, se han realizado dos manuales, uno trata sobre los sistemas de control y otro sobre los sensores, se han descrito con mayor detenimiento el proceso de elaboración de tres productos y los sensores utilizados en dichos procesos de elaboración, se ha realizado una presentación de PowerPoint de cada uno de los temas y se han buscado cuarenta y un videos explicativos de alguno de los apartados que se trata en los manuales.



## **7. BIBLIOGRAFIA Y PAGINAS WEBS.**

### **7.1 BIBLIOGRAFIA.**

“Ingeniería de Control”

W. Bolton. Marcombron, Boixareu Editores.

“La Automatización de la fabricación de Alimentos y Bebidas”

Ian McFarlane. A. Madrid Vicente Ediciones.

“Sensores y Analizadores”

Harry N. Norton

“Sensores y Acondicionadores de Señal”

Ramón Pallés Areny.

MARCOMBO

## 7.2 PAGINAS WEBS.

[www.ap-grupo.com/espanol-farma.htm](http://www.ap-grupo.com/espanol-farma.htm)  
[www.directindustry.es/fabricante-industrial/sensores-de-temperatura-sin-contacto-infrarrojos-817/sensor-temperatura-60796.html](http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/sensores-de-temperatura-sin-contacto-infrarrojos-817/sensor-temperatura-60796.html)  
[www.mitecnologico.com/Main/SensoresDeTemperatura](http://www.mitecnologico.com/Main/SensoresDeTemperatura)  
[www.profesormolina.com.ar/tecnologia/sens\\_transduct/index.htm](http://www.profesormolina.com.ar/tecnologia/sens_transduct/index.htm)  
[www.idm-instrumentos.es/Sensores/presion.htm](http://www.idm-instrumentos.es/Sensores/presion.htm)  
[www.industriaynegocios.com](http://www.industriaynegocios.com)  
[www.monografias.com/trabajos6/sicox/sicox.shtml](http://www.monografias.com/trabajos6/sicox/sicox.shtml)  
[www.lukor.com/ordenadores/05062902.htm](http://www.lukor.com/ordenadores/05062902.htm)  
[www.monografias.com/trabajos15/sistemas-control/sistemas-control.shtml](http://www.monografias.com/trabajos15/sistemas-control/sistemas-control.shtml)  
[www.librosvivos.net/smtc/homeTC.asp?TemaClave=1164](http://www.librosvivos.net/smtc/homeTC.asp?TemaClave=1164)  
[wikipedia.org/wiki/Sensor](http://wikipedia.org/wiki/Sensor)  
[www.mecanova.es/](http://www.mecanova.es/)  
[www.ametrade.com/sp/controls/applications/food\\_beverages.shtml](http://www.ametrade.com/sp/controls/applications/food_beverages.shtml)  
[www.indemajfj.com](http://www.indemajfj.com)  
[www.geape.es](http://www.geape.es)  
[www.improlac.com](http://www.improlac.com)  
[www.agroterra.com](http://www.agroterra.com)  
[www.fisicanet.com](http://www.fisicanet.com)  
[www.electriauto.com](http://www.electriauto.com)  
[www.mundoelectronics.blogspot.com](http://www.mundoelectronics.blogspot.com)  
[www.fermentacionetanolica.wikispaces.com](http://www.fermentacionetanolica.wikispaces.com)  
[www.engormix.com](http://www.engormix.com)  
[www.ramonmedina.name/uba.htm](http://www.ramonmedina.name/uba.htm)  
[www.fing.edu.uy/iimpi/.../080306-Sensores-parte\\_IV.nivel.pdf](http://www.fing.edu.uy/iimpi/.../080306-Sensores-parte_IV.nivel.pdf)  
[www.fing.edu.uy/.../080306-Sensores-parte\\_II.temperatura.pdf](http://www.fing.edu.uy/.../080306-Sensores-parte_II.temperatura.pdf)  
[www.fing.edu.uy/iimpi/.../080306-Sensores-parte\\_I.caudal.pdf](http://www.fing.edu.uy/iimpi/.../080306-Sensores-parte_I.caudal.pdf)  
[www.fing.edu.uy/iimpi/.../080306-Sensores-parte\\_III.presion.pdf](http://www.fing.edu.uy/iimpi/.../080306-Sensores-parte_III.presion.pdf)  
[www.directindustry.es](http://www.directindustry.es)  
[www.wika.es](http://www.wika.es)  
[www.termomed.net](http://www.termomed.net)  
[www.labpromm.blogspot.com](http://www.labpromm.blogspot.com)  
[www.arotubi.com](http://www.arotubi.com)

[www.tumedicion.com](http://www.tumedicion.com)

[www.pce-iberica.es](http://www.pce-iberica.es)

[www.sapiensman.com/ESDictionary/docs/d7.htm](http://www.sapiensman.com/ESDictionary/docs/d7.htm)

[www.sapiensman.com/neumatica/neumatica35.htm](http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica35.htm)

[www.sensoresdenivel.blogspot.com](http://www.sensoresdenivel.blogspot.com)

[www.sapiens.itgo.com/documents/doc60.htm](http://www.sapiens.itgo.com/documents/doc60.htm)

[www.mediciondenivelessantech.blogspot.com](http://www.mediciondenivelessantech.blogspot.com)

[www.medirvariables.blogspot.com](http://www.medirvariables.blogspot.com)

[www.members.fortunecity.com/losdos/automatizacion1.htm](http://www.members.fortunecity.com/losdos/automatizacion1.htm)

[www.sapiens.itgo.com/documents/doc17.htm](http://www.sapiens.itgo.com/documents/doc17.htm)

[www.microbrian.com.ar](http://www.microbrian.com.ar)

[www.sensoresdeproximidad.galeon.com](http://www.sensoresdeproximidad.galeon.com)

[www.monografias.com/trabajos6/sicox/sicox.shtml](http://www.monografias.com/trabajos6/sicox/sicox.shtml)

[www.lukor.com/ordenadores/05062902.htm](http://www.lukor.com/ordenadores/05062902.htm)

[www.monografias.com/trabajos15/sistemas-control/sistemas-control.shtml](http://www.monografias.com/trabajos15/sistemas-control/sistemas-control.shtml)

[www.librosvivos.net/smtc/homeTC.asp?TemaClave=1164](http://www.librosvivos.net/smtc/homeTC.asp?TemaClave=1164)

[wikipedia.org/wiki/Sensor](http://wikipedia.org/wiki/Sensor)

[www.youtube.com](http://www.youtube.com)

[www.sancarlos.com.ec](http://www.sancarlos.com.ec)